

ТАРЧЕВСКИЙ В. В.

ВЛИЯНИЕ ДЫМО-ГАЗОВЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УРАЛА НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

Введение

Современный период характеризуется техническим прогрессом, быстрым ростом промышленности и все усиливающимся влиянием последней на организмы. Планами развития народного хозяйства СССР намечено быстрое развитие химической и горнорудной промышленности, черной и цветной металлургии, производства электроэнергии и др.

Все это, несмотря на улучшение технологического процесса, строительство высотных труб и очистных сооружений, установку фильтров, переход на газовое топливо и другие мероприятия, неизбежно приводит к еще большему загрязнению атмосферы, поверхностных и грунтовых вод, ухудшению физико-химических свойств почвы, санитарной зоны населенных мест и среды обитания организмов. Благодаря последнему промышленные загрязнения представляют большую социальную, санитарную и экологическую проблему.

В связи с загрязнением атмосферы и ухудшением санитарной зоны населенных мест в Советском Союзе в 1960 г. 29 октября сессией Верховного Совета РСФСР был принят «Закон об охране природы».

Создавшееся положение с загрязнением не могло пройти незамеченным в программе строительства коммунистического общества в СССР. Поэтому в программе КПСС (часть вторая, глава II, п. б) записано: «В предстоящий период осуществится широкая программа коммунистического строительства и благоустройства всех городов и рабочих поселков..., проведения системы мероприятий по дальнейшему оздоровлению условий жизни в городах и других населенных пунктах, включая их озеленение, обводнение, решительную борьбу с загрязнением воздуха, почвы и воды» (Материалы XXII съезда КПСС, Госполитиздат, 1961, стр. 391).

Практическое преломление этих положений отражено в докладе Председателя Совета Министров РСФСР тов. Воронова Г. И. на первой сессии Верховного Совета РСФСР (март, 1963). В своем докладе тов. Воронов Г. И. сказал: «Большую работу необходимо

провести по предупреждению загрязнения воздуха, рек и водоемов отходами производства. Только безответственностью руководителей Средне-Уральского совнархоза можно объяснить, что Полевской криолитовый завод Свердловской области ежесуточно выбрасывает в атмосферу многие тонны фтористых, сернистых и азотных соединений... В этом деле надо навести строгий порядок — привлекать к ответственности руководителей, нарушающих санитарный режим».

Но, кроме политического аспекта, загрязнение атмосферы представляет большую экологическую проблему. Выделения промышленности стали настолько значительными, что влияние их на организмы относится к числу важнейших и сложных экологических факторов, особенно сильно выраженных в таких промышленных районах, как Урал, Донбасс, Кузбасс, Караганда и др.

Загрязнение атмосферы промышленными выделениями вызвало серьезное беспокойство мировой общественности. Так, вопросу загрязнения воздуха и угрозе, которую он представляет, посвящен специальный номер «Курьера Юнеско» (март, 1959), где напечатаны статьи виднейших специалистов по этому вопросу, в том числе проф. В. Рязанова. Здесь же приведены многочисленные факты отрицательного действия загрязненного воздуха на организмы. Так, в Англии наблюдения показали, что в условиях загрязненной атмосферы редис и некоторые другие овощи теряют в росте от 50 до 90 процентов, а часто просто погибают. Под воздействием загрязненных осадков почва способна быстро терять имеющиеся в ней запасы питательных веществ, необходимых для растений. Указаны примеры гибели растений и животных вблизи промышленных предприятий в США, Швейцарии, Голландии, Швеции, Финляндии и других странах.

Эти же вопросы вредного влияния загрязненного воздуха на организмы обсуждаются на страницах журнала Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) — «Здоровье мира». Так, в феврале 1963 года помещена интересная статья Клода Блуена «Нечистоты в небе».

По данным зарубежной печати, в результате запыления атмосферы выделениями промышленных предприятий, автотранспорта, котельными бытовых предприятий и другими источниками над Лондоном, Питсбургом, Лос-Анжелосом, Дюссельдорфом, Ланкаширом и др. промышленными центрами на один куб. метр воздуха приходится до 300 млн. мелкодисперсных частиц, в результате чего инсоляция уменьшается на 10—30 %, а ультрафиолетовые лучи почти не достигают поверхности земли. Во многих уральских городах потеря ультрафиолетовых лучей достигает 50 и более процентов.

Загрязнение воздуха, вызвавшее беспокойство общественности, начинается с момента применения угля. В последующем каменный уголь с развитием промышленности становится основным видом топлива, а его дым основным компонентом загрязнения воздуха.

С середины прошлого века все очевидней становится зависимость между загрязнением атмосферы и ухудшением санитарной зоны городов и рабочих поселков, появлением специфических заболеваний и усилением смертности, уменьшением и даже исчезновением ряда животных и растительных видов, снижением урожайности и другими драматическими явлениями.

С этого времени появляются первые работы, посвященные вопросам загрязнения воздуха. В начале нашего века ежегодно печатается около 6 статей, а начиная с 1950 г. свыше 150 статей, обсуждающих различные аспекты влияния загрязнения атмосферы, и проблема изучения загрязнения атмосферы занимает особое место среди других особо важных проблем.

Если до 1945 г. в США вопросами загрязнения воздуха занимались городские контрольные бюро, то с 1945 г. установлено, что загрязнение атмосферы — это проблема целых районов и областей. В Советском Союзе контроль за загрязнениями атмосферы, воды и почвы является одной из основных работ городских, районных и областных исполкомов депутатов трудящихся и санэпидстанций. По линии общественности это делается через Общество охраны природы, а по научной — через Комиссии охраны природы при Академии наук СССР. Так, в марте 1962 года в Свердловске состоялось научно-координационное совещание по проблеме «Влияние промышленных загрязнений на растительность и использование растительности для борьбы с промышленными загрязнениями». В решении этого совещания о действии промышленных загрязнений сказано: «Как правило, это влияние крайне неблагоприятно отражается на жизнедеятельности растений, снижает урожайность с.-х. культур, вызывает ослабление роста и отмирание городских зеленых насаждений, усыхание пригородных лесов и смену естественных культурных сообществ на менее ценные. Отрицательные стороны воздействия промышленных загрязнений на растительность усугубляется тем, что оно наблюдается в местах, где проживает основная часть населения, т. е. в районах, характеризующихся повышенной ценностью растительных ресурсов».

В данной работе освещаются вопросы влияния дымо-газовых выделений тепловых электростанций и связанных с ними заводов Урала на растительность, а также высказываются некоторые предложения по ликвидации последствий этих загрязнений. Теоретической основой исследований послужили ценные высказывания академика В. И. Вернадского о том, что все организмы, в том числе и растения, являются концентраторами рассеянных веществ, вне зависимости от того, находятся эти вещества в воздухе, в почве или в воде. Из всех организмов реакция растений на промышленные загрязнения является наиболее рельефной, почему среди последних многими авторами растения выдвигаются как индикаторы загрязнения среды.

Мы считаем, что данная работа поможет составить представление о влиянии дымо-газовых выделений как в отношении отдельно

взятого растения, так и растительных ценозов. Это тем более необходимо, что в представлениях многих ботаников действие дымо-газовых выделений на растительные организмы оценивается как случайное и узко локальное и часто во внимание не принимается. Между тем, это влияние распространяется на обширные площади и накладывает отпечаток на морфологические изменения, химизм растений, характер физиологических процессов, ритмику развития, а также состав растительности, структуру и динамику фитоценозов по всем группам растительных организмов.

Промышленные загрязнения

Все виды промышленных загрязнений подразделяются на три категории:

а) легкая фракция — дымо-газовые выделения, к которым относятся газы, туманы, дымы, сажа, зола и другие взвешенные в воздухе вещества, так называемые аэрозоли;

б) жидкая фракция — сточные воды предприятий и

в) твердая фракция — шлаки, шламы, отходы горнорудной и угольной промышленности, «хвосты» от переработки промышленного сырья, складываемые в отвалы, поля и другие образования.

Первые две фракции по воздуху и воде распространяются на большие расстояния, последние — отвалы — обычно расположены вблизи источников загрязнения и имеют ограниченный радиус загрязнения.

В заводских сточных водах сбрасываются в водоемы огромные количества фтора, хрома, меди, железного купороса, железа, никеля, фенола, смолистых веществ, масел и других соединений в недопустимо высоких концентрациях. Так, по р. Туре из-за высоких концентраций фенола были отравлены все пойменные луга и на этом месте сейчас растительность отсутствует, а если кой-где и сохранились отдельные островки, то они никакой ценности в кормовом отношении не представляют.

Отравленные на сотни километров промышленными стоками некоторые реки Урала не могут использоваться ни для питья, ни для технических целей. Вполне естественно, что в таких водоемах и вдоль берегов растительность резко деградировала, так же как и животный мир. По самым скромным подсчетам Уральского отделения ВНИОРХ из-за загрязнения водоемов только в Свердловской области население ежегодно недополучает 10 тыс. центнеров рыбы.

В дальнейшем обсуждаются только дымо-газовые выделения и их влияние на почву и растительность. Другие статьи посвящены промышленным отвалам — их самозарастанию и возможности их консервации.

Состав и характер дымо-газовых выделений

Состав дымо-газовых выделений очень сложен и зависит от характера производства и сжигаемого топлива. В загрязнении атмо-

сферы участвуют многие органические и неорганические соединения, а в составе последних могут быть выделены металлические и неметаллические компоненты.

К органическим соединениям, участвующим в загрязнении атмосферы, относятся: различные углеводороды, окись углерода, кетоны, окислы азота, аммиак, альдегиды, органические кислоты и смолистые вещества, пыль органических веществ, многие из которых канцерогены. В загрязненной атмосфере Лондона 50 % органической пыли из 34 органических соединений, в том числе 3 канцерогена.

К неорганическим соединениям относятся многочисленные металлы в чистом виде и в виде различных соединений, а также многочисленные газы и твердые частицы, в частности: фтор, хлор, сернистый газ, мышьяк и др., а также туманы кислот, сажа, зола и пыль (тальковая, магнетитовая, кварцевая, каменноугольная, асбестовая и др.). К этой же группе относится радиоактивная пыль и многочисленные радиоаэрозоли.

По своему действию на организмы все виды загрязнений могут быть грубо подразделены на ядовитые (токсические), вредные (раздражающие), наносящие ущерб и нейтральные.

Степень влияния дымо-газовых выделений на растительные организмы зависит от многих причин, в частности, от постоянства ветра, влажности воздуха, количества выбрасываемого вещества загрязнения, величины частиц аэрозолей, высоты труб и технологии производства. Так, при сжигании топлива при низкой температуре в атмосферу выбрасываются продукты неполного сгорания, в том числе канцерогены, а также много золы, сажи и частиц несгоревшего каменного угля. При сжигании этого же топлива, но при высокой температуре, с предварительным тонким помолом (как это делается на всех тепловых электростанциях) и выпуском дымо-газовых выделений через высокие трубы порядка 70—100—150 м происходит наиболее полное сгорание угля и наилучшее рассеивание дымо-газовых выделений в атмосфере.

Пыль. Большинство промышленных предприятий выделяет пыль и это является основным источником загрязнения воздуха. Особенно много пыли образуется на заводах черной и цветной металлургии, в горнорудной промышленности, при сжигании угля в тепловых электростанциях и бытовых котельных, в шамотном производстве и др. Промышленная пыль может создавать сложные дисперсные системы, легко электролизуется, а в присутствии свинца, хрома и других элементов приобретает токсический характер. Особенно много пыли над промышленными городами. В г. Нижнем Тагиле ежесуточно выбрасывается в воздух около 2 тысяч тонн золы, выделяемой промышленными предприятиями. Много пыли над г. Свердловском. По нашим визуальным наблюдениям, в феврале 1960 г. снег к востоку от г. Свердловска становится совершенно чистым только начиная с 40—41 км. В пределах же городской черты городов Свердловска, Нижнего Тагила, Магнитогорска

и ряда других снег всегда грязно-серый и пронизан черными слоями. Исследованиями Кротовой Н. Г. (1957) установлено, что определенная загрязненность снега соответствует количеству сернистого газа в воздухе. Аналогичны показатели по запыленности г. Асбеста, где по данным Шмакова А. А. (1958) количество оседающей пыли превышает 500 мг/м^3 в сутки. В особо запыленных местах содержание пыли составляет $5\text{--}10 \text{ мг/м}^3$.

Представление о площади загрязнения пылью можно составить также из следующих примеров: в г. Чистый Яр, Донецкой области, где развито шамотное производство, пыль с подветренной стороны от источника загрязнения разносится на 10 км , в г. Дрогобыч пыль продуктов нефтепереработки легко обнаруживается на расстоянии в $9\text{--}10 \text{ км}$. По данным Кулагина Ю. З. (1961), магнезитовая пыль в г. Сатка, Челябинской области, выбрасываемая заводом Магнезит, разносится на расстоянии в $15\text{--}20 \text{ км}$. Отрицательное действие пыли отмечено даже в 20 км от завода, что выражается в преждевременном побурении и опадении хвои у сосен. Об этом же говорит работа Клевина, Уэйстейна и Гарриса (Klevin P. B., Weinstein M. S., Harris W. B., 1956), изучавших распространение легко обнаруживаемых приборами частиц урановой пыли в районе трех предприятий, перерабатывающих урановую руду. Ими установлено, что наибольшая концентрация урана в почве находится в радиусе 15 км вокруг источника загрязнения. Снижение концентрации урановой пыли происходит пропорционально квадрату расстояния от источника загрязнения. При этом большое значение имеют размеры частиц пыли. Согласно указаниям Маркса, Мейсона, Нейгельшмидта (Marks I., Mason M., Nagelschmidt, 1956) повреждающее действие пыли тем больше, чем мельче частицы.

Значительное место в загрязнении воздуха принадлежит металлургической пыли. При анализе воздуха 20 промышленных городов Англии обнаружено наличие пыли 17 металлов, из которых в значительном количестве присутствуют: железо от $0,23$ до 30 мг/м^3 , медь от $0,05$ до $30,0$; свинец от $0,33$ до $17,0$; марганец от $0,01$ до $3,0$; цинк от $0,4$ до $49,0 \text{ мг/м}^3$. В небольших количествах постоянно обнаружены: сурьма, барий, бериллий, висмут, кадмий, хром, кобальт, молибден, никель, олово, титан, ванадий.

По данным Хачатряна (1955), аэрозоли тяжелых металлов (медь, свинец, цинк) осаждаются на расстоянии до 1 км от предприятия и содержимое их по мере удаления от источника загрязнения замечательно снижается. Но бывают и исключения. Иногда пыль свинца обнаруживается в 5 км от свинцово-цинкового завода с подветренной стороны в количествах, превышающих предельно допустимую норму в $14\text{--}527$, а мышьяка в $3,6\text{--}52$ раза. Это расхождение может быть объяснено, с одной стороны, размером предприятия и технологией обработки, а с другой — метеорологическими условиями, в частности, силой ветра, а также высотой труб предприятия. Важно другое, с чем можно согласиться с положениями Хачатряна,

что пыль тяжелых металлов, по сравнению с другими компонентами, оседает в первую очередь вблизи предприятия. Между прочим, при полетах на небольшой высоте над промышленными предприятиями, выделяющими пыль тяжелых металлов, можно легко заметить различно окрашенную растительность под влиянием осадения на ее листья тех или иных компонентов.

Хертель (Härtel Otto, 1954) указывает, что большое значение имеет состав пыли и ее реакция. Если в составе пыли имеется Mg, то содержание хлорофилла в листьях увеличивается. При оседании пыли, имеющей щелочную реакцию, гигроскопичность тканей мало изменяется, но при этом происходит уменьшение кутикулярной транспирации, вследствие чего содержание воды в тканях увеличивается. Выделения щелочи — каустика (NaOH) глиноземными цехами алюминиевых заводов обжигает листья деревьев или прожигает на них отверстия. В первом случае растения чаще всего гибнут и не восстанавливаются. Почвы этих мест приобретают щелочную реакцию.

Под влиянием запыления снижается фотосинтез, уменьшается ассимиляционная деятельность листьев и ослабляется рост растений (Ершов М. Ф., 1959). Опытами Декренье и Пике (Lecrenier A., Piquet I., 1956), наносившими цементную пыль на листья фасоли и томата, у последнего обнаружена задержка созревания плодов, а у обоих видов снижение урожая, благодаря снижению фотосинтетической деятельности листьев.

Наблюдаемые в районах металлургических заводов и электростанций огромные количества пыли и золы хорошо осаждаются растительностью. Отложение золы и пыли на листьях зависит от характера поверхности листа — опушения, наличия волосков, щетинок, липких выделений. Хорошо задерживают пыль молодые листья тополя бальзамического, благодаря смолистым выделениям. У различных растений отложения пыли располагаются по-разному. Так, например, у лоха серебристого, черной смородины, розы и дуба — на нижней стороне листа, в то время как у сирени венгерской, кизильника обыкновенного — по жилкам верхней стороны.

Отличаются растения и по количеству задерживаемой ими пыли: у одних оно минимальное, в то время как у других пыль осаждается во много раз больше. Вполне понятно, что в запыленных районах последние растения будут выполнять свою служебную роль значительно лучше, особенно это относится к древесным и кустарниковым растениям. Об этой роли растений, как пылевом барьере, «зеленом фильтре» писали Адамова А. А. (1937), Докучаева В. Ф. (1959) и др.

Исследования растений по их пылезадерживающим свойствам впервые проведены Ярославцевым Г. Д. (1954) и Ершовым М. Ф. (1955, 1959). Последним на основе всесторонних наблюдений установлены различия в запылении листьев по положению в кроне, по характеру текстуры и возрасту листовой пластинки, по их ви-

довой принадлежности. Ершовым М. Ф. даны два списка растений по их пылезадерживающим свойствам для г. Иркутска и г. Куйбышева.

Название растений (г. Иркутск)	Оцен- ка	Название растений (г. Куйбышев)	Оцен- ка
Осина	1,0	Ясень	1,0
Береза плосколистная	1,5	Жимолость татарская	1,1
Тополь душистый	1,7	Клен ясенелистный	1,7
Яблоня ягодная	2,0	Карагана желтая	1,8
Кизильник черноплодный	2,9	Лох узколистный	2,1
Черемуха азиатская	3,0	Вяз мелколистный	2,3
Бузина сибирская	3,1		
Сосна обыкновенная	24,0		

По нашим наблюдениям (1959) в дендрологическом парке г. Свердловска, прекрасными пылезащитными свойствами обладает дуб (*Quercus robur* L.), у которого вся нижняя сторона листьев была покрыта черным слоем сажи и пыли, в то время как на листьях других растений имелось незначительное количество задержанной пыли.

Эта особенность растений (их пылезадерживающие свойства) является весьма важной при проведении озеленения промышленных центров.

Встречаются более сложные случаи загрязнения, когда пыль с листьев растений не смывается водой и атмосферными осадками. По сообщению агронома-озеленителя Г. Лысенко, на территории сажевого завода (г. Барнаул) все посадки из клена татарского и зеленого, вяза мелколистного, газон из житняка, цветочные клумбы, из-за выпадающей на них сажи, плохо смываемой водой, приобретают недекоративный вид. Кроме этого, из-за большой загазованности растения сильно угнетены. На Кировском тракторном заводе (г. Челябинск) по инициативе рабочих прекрасно озеленен цех отопительной аппаратуры. В одном из отделов выделяется много металлической и наждачной пыли, а также масляной эмульсии. Все попытки смыть эту пыль водой ни к чему не приводили. Тогда была сделана попытка обтирать листья растений керосином. Все жестколистые растения (фикус, драцена, олеандр и др.) в летнее время безболезненно перенесли эту операцию, но с наступлением осени листья стали чернеть и опадать. При этом оказалось, что растения, листья которых смазывались керосином, в два раза быстрее росли и имели более лучший вид, чем аналогичные в других помещениях. Опыты на кафедре ботаники Уральского университета имени А. М. Горького над двумя фикусами, из которых листья одного в летнее время обтирались керосином, дали аналогичный эффект.

Здесь не рассматривается ряд других источников загрязнения атмосферы, таких как: горнорудные разработки, пылящие про-

мышленные отвалы и др. Ясно одно, что промышленная пыль угнетает рост и развитие растений и снижает урожай.

Газы. Если тяжелые аэрозоли, к которым относятся частицы металлической и неметаллической пыли, могут разноситься от источника загрязнения на 10—15 и более км, то более легкие компоненты дымогазовых выделений, в частности газы и туманы кислот, разносятся на большие расстояния.

Первая зона наиболее высоких концентраций газовых выделений наблюдается на территории самих предприятий и в ближайших окрестностях. Из рабочих помещений газы выделяются путем аэрации через световые фонари и вентиляторы прямо на заводскую территорию.

Следующей зоной высокой концентрации будет место контакта с землей первой волны дымо-газовых выделений, выбрасываемых через высокие трубы, что отмечается в ряде случаев на расстоянии 1,5 км от завода. Где-то на расстоянии 3—4 км начинается третья зона. В последующем концентрации газов становятся меньше, но действие их прослеживается достаточно хорошо и на более далеких расстояниях. Так, по химическим заводам повышенные концентрации хлористого водорода, превышающие предельно допустимую норму в 8 раз, отмечаются от источника загрязнения в 10 км, а по алюминиевым заводам с этого расстояния фтор часто дает даже более высокие концентрации, чем на территории самого завода.

Между городами Ревдой и Первоуральском под влиянием выделений Средне-Уральского медеплавильного комбината хорошо прослеживается коридор сильно поврежденного леса на расстоянии 15—20 км.

О расстояниях, на которых ощущается действие дымо-газовых выделений, говорится в работе шведского исследователя Туштенсона (Tostensson 9., 1954), проведенной около фабрично-заводского центра Кварнторн. Последним ежедневно выделяется 150 т сернистого газа. На расстоянии 1 км от заводского центра все посевы пшеницы повреждены. На расстоянии 3 км обнаруживается большое количество серы в растениях клевера и в почве. Обычно при выпадении осадков сернистый газ аккумулируется почвой в виде соединений серы, и поэтому на всем протяжении распространения сернистого газа легко обнаруживаются повышенные количества серы в почве. Такое повышенное содержание серы в почве Туштенсон установил на протяжении 160 км от источника загрязнения. Из этого следует, что различные газы могут распространяться на очень далекие расстояния и на всем этом протяжении оказывать влияние на растительные и иные организмы.

Площадь действия газовых выделений удобнее всего разделить на три зоны: зону высоких газовых концентраций или острых отравлений, зону средних концентраций или зону хронического отравления растений и, наконец, зону слабых концентраций.

Вполне понятно, что в зоне высоких концентраций газовых выделений, влияние последних на большинство растений будет гу-

бительным и здесь будут встречаться только наиболее и даже сверхустойчивые растения. Для выращивания других растений здесь нужен особо тщательный уход в виде водного душа, систематического внесения удобрений и другие мероприятия. В зоне средней концентрации или зоне хронического отравления растения испытывают постоянное угнетение, но могут еще существовать в этих условиях или адаптироваться к ним, хотя часть видов выпадает из ценозов. Наконец, в третьей зоне влияние слабых концентраций носит невыраженный характер и не всегда проявляется на внешних признаках растения.

Для разных газов эти зоны будут носить различный характер и каких-либо критериев для этой градации не существует. Так, для фенола зона высоких концентраций колеблется в пределах 100—200 м, для сернистого газа до 2 км, для фтора до 10 км. Все зависит от количества выбрасываемых газовых выделений, от высоты труб, рельефа и метеорологических условий данной местности.

При особых погодных условиях: при штилевой погоде, при слабых ветрах и других благоприятствующих состояниях погоды, а также в зависимости от условий рельефа, могут создаваться опасные разовые максимальные концентрации, которые губительно действуют на организмы в короткие сроки времени. Часто разовые максимальные концентрации дымо-газовых выделений являются главной причиной гибели растений.

Ниже приводятся некоторые сведения о максимальных концентрациях на расстояниях в 3 и 10 км от источника загрязнения (превышения предельно допустимых норм):

Название выделений	3 км	10 км
Сернистый газ	11—30	—
Хлористый водород	12—20	4—8
Хлор	3	норма
Фтор	70	до 130
Свинец	12	—
Мышьяк	20	—
Туманы серной кислоты . . .	2,5	—
Окислы азота	2	—
Окись углерода	7	—
Пыль	100	—

Фенол, хлор, окись углерода, хром и некоторые другие тяжелые соединения дают наиболее сильные концентрации в пределах двух первых километров, а затем содержание их в воздухе резко снижается. Но зарегистрированы и обратные примеры. Так, аэрозоли хрома на расстоянии 2 км от источника загрязнения превышали норму более чем в 400 раз. Имел место случай, когда концентрация фенола на расстоянии 12 км от источника загрязнения превышала норму в 50 раз.

При пульсации ветра дымовой факел может давать повышенные концентрации практически во всех направлениях и поэтому на подступах к заводу вся окружающая растительность испытывает его влияние.

Площадь наиболее опасного загрязнения дымо-газовыми выделениями промышленных предприятий на Урале в связи с господствующим направлением западных ветров чаще всего будет представлять длинно вытянутый овал, границы которого с наветренной стороны расположены в 3—5 км и с подветренной на 10—20 и более км от предприятия в зависимости от специфики и мощности производства.

При изучении действия промышленных выделений на растительность в полевых условиях возникает целый ряд затруднений, так как приходится иметь дело со сложными дымо-газовыми смесями, неизвестной концентрации и др. Приходится фиксировать суммарный эффект, выражающийся в появлении специфических повреждений у растений, произрастании определенных видов и др. Этот эффект влияния загрязнения хорошо обнаруживается при сравнении большого количества описаний по маршруту с наветренной и с подветренной стороны от источника загрязнения. В этом случае количество видов растений за пределами загрязненной зоны и внутри ее составит результирующую кривую последствий загрязнения на растительный покров. В равнинной местности при возрастающих концентрациях дымо-газовых выделений произошло бы постепенное обеднение списка видов, но в условиях нарушенного рельефа эта картина усложняется. Тем не менее и здесь сравнение лесной растительности с тем, что сохранилось в загрязненной зоне, позволяет в общем виде представить ход динамики растительного покрова.

Таким образом, при геоботанических исследованиях вполне применим сравнительно-статистический метод, при котором вскрываются основные направления смены растительного покрова.

Дымо-газовые выделения влияют на весь комплекс организмов биоценоза, благоприятствуя существованию одних организмов и угнетающе действуя на другие. В воздухе промышленных предприятий резко увеличивается видовой состав бактерий. На поверхности почвы Красноуральского медеплавильного комбината хорошо развита флора сине-зеленых водорослей. В то же время давно известно, что в задымленных районах лишайники гибнут в первую очередь. В лесах около промышленных городов Урала это положение полностью подтверждается. Наблюдениями Ю. З. Кулагина установлено, что в запыленных местах около г. Сатка погибли мхи, грибы, а также многие двудольные растения. Он же высказывает предположение, что влияние пыли отрицательно действует на микоризу сосны и ели. В районе Полевского криолитового завода под влиянием фтора установлено отсутствие комаров и многих опылителей. Под влиянием загрязнения воздуха в районе промышленных центров Англии появляются меланотические формы бабо-

чек (до 70 видов), в то время как в местностях с чистым воздухом последние отсутствуют.

Поэтому промышленные загрязнения воздуха, почвы, воды сложнейшим образом влияют на перестройку ценотических связей организмов. Наряду с этим нарушается ритмика развития организмов. По данным Антипова В. Г. (1957), на территории трех химических заводов, выделяющих метан, этилен, ацетон, хлор и сернистый газ, установлены значительные смещения всех фенологических фаз растений и ослабление плодоношения. Эти отклонения особенно рельефно выступают осенью. У ряда растений вегетационный период оказался значительно укороченным (на 20—69 дней) по сравнению с контролем.

Таким образом, растительные организмы вблизи источников загрязнения испытывают многостороннее отрицательное воздействие дымо-газовых выделений. Растительность в загрязненных районах всегда содержит повышенные количества тех или иных элементов и соединений, часто нежелательных и вредных как для самого растения, так и для его потребителей — животных и человека. Отсюда с неизбежностью вытекает и то положение, что всякое изучение растений в естественных условиях или в эксперименте в районах, подверженных промышленным загрязнениям, по крайней мере в радиусе 10 км, а местами и больше, должно коррелироваться на агрессивное влияние дымо-газовых аэрозолей и действие последних необходимо тщательно диагностировать. Эти работы над растениями необходимо проводить в плане изучения: а) внешних повреждений, б) темпов роста и развития, в) химического состава, г) степени заболеваемости и уродств, д) выделения индикаторов, ж) дигрессивных изменений в составе растительного покрова, з) появления новых растений и ценозов.

Наиболее хорошо изучено действие сернистого газа и фтора, а также действие пыли. Ниже приводятся сведения о действии последних на растения. В отношении других компонентов дымо-газовых выделений Мидлтон, Дарли, Бруэр (Middleton I. T., Darley E. F., Brewer R., 1957) утверждают, что другие галогены, сероводород, окислы азота, аммиака и окись углерода обычно не причиняют большого вреда растениям, так как редко встречаются в больших концентрациях в атмосфере. К числу вредных аэрозолей они относят этилен и фенол. Тейлор (1958), Тед и Гарбер (Todd U. W., Garber M. I., 1958) изучали вредное действие озонированного гексена. Бобров-Глейтер (Bobrov-Glater R. A., 1955, 1958) проследил вредное действие его на папоротниках и мятлике однолетнем, а Меткаф (Metcalf C. R., 1953) то же самое на оранжевых растениях. Пельц (Pelz E., 1956) в числе вредных газов называет хлор.

Большинство же исследователей не подразделяет дымо-газовые выделения и описывает вредное действие задымления вообще. Можно предполагать, что ведущая роль в этом задымлении па-

дает на сернистый газ, так как он относится к числу наиболее распространенных.

Нельзя забывать еще об одной особенности дымо-газовых выделений — их способности создавать, при нетоксических содержаниях компонентов в отдельности, сложные соединения, обладающие токсическими свойствами.

Внешние повреждения растений под действием дымо-газовых выделений

Одним из самых легких способов диагностирования действия дымо-газовых выделений промышленных предприятий является сам облик растения. Визуально на большинстве растений, произрастающих в зоне острого и хронического задымления, хорошо заметны те или иные повреждения. Поэтому первой задачей исследователя является регистрация этих повреждений и этот метод наиболее доступен каждому. Регистрация степени повреждения тех или иных видов в полевых условиях позволяет подразделить их на газоустойчивые, среднегазоустойчивые и негастойчивые или по пятибальной шкале, как это предложено Красинским Н. П. (1950), Кунцевичем И. П. и Турчинской Т. Н. (1957). Наибольший интерес будут представлять особо газоустойчивые растения. В качестве примера можно привести следующие два растения: бескильницу Гаупта (*Puccinellia Hauptiana* (Parl.) V. Krecz), которая встречается без всяких видимых повреждений буквально в самых невозможных для произрастания других растений местах (Тарчевский В. В., 1961), а также чемерицу (*Veratrum Lovelianum* Bernh), которая зарегистрирована на отравленном серной кислотой участке вблизи Средне-Уральского медеплавильного завода, при почти полном отсутствии других растений.

Внешние повреждения могут носить различный характер и в возрастающем порядке они располагаются так: изменение окраски листьев, появление точечности, отдельных некротических пятен, мумификация части листьев (хвои), уменьшение листовой поверхности, опадение листьев (хвои), недоразвитие побегов, бутонов, цветов, семян, сокращение годового прироста или приостановка его, засыхание веток, суховершинность, полная гибель растения. К числу дополнительных признаков относятся: появление уродливых выростов, изменение формы листьев (разнолистность), ветвей, соцветий, появление образований типа «ведьминых метел», слабая устойчивость растений к заболеваниям и вредителям.

У некоторых хвойных, в частности сосны, в зоне высоких концентраций сернистого газа отмечен в росте отдельных веток и вершины гигантизм и «пучковатость» хвои. Это явление хорошо прослеживается в районе Шатурской, Серовской и Нижне-Туринской тепловых электростанций.

У разных видов растений и в разных условиях повреждения могут носить индивидуальный характер с отступлением от приведенной схемы.

Загрязнение почвы. Почва и растительность неразрывно связаны между собой. Почва содержит самые разнообразные химические зольные соединения и связанный азот, используемые растением на всех этапах его жизнедеятельности. В основе оценки почв лежит ее плодородие. Дымо-газовые выделения отрицательно влияют на плодородие почв и этим самым на возможность произрастания тех или иных растений и их урожайность.

Если угнетающее действие дымо-газовых выделений в атмосфере на растения, согласно приведенному выше материалу, не вызывает сомнений, то косвенное влияние этих же выделений через почву было не вполне ясно. В настоящее время накоплен некоторый материал, указывающий на отрицательное действие загрязненной почвы на растения.

Несомненно одно, что в районе действия промышленных предприятий почва засоряется многочисленными механическими примесями и вредными соединениями и микроэлементами, в результате чего в самой почве происходят сложные химические реакции. В силу этого почва изменяется в химическом, структурном и иных отношениях, ухудшающих ее как среду обитания для растений, а в ряде случаев отравляющих ее настолько, что исключается возможность жизни организмов вообще. Часто почвы обогащаются растворимым алюминием, стронцием и другими элементами в токсических дозах. Накопление аэрозолей происходит не только с поверхности, но, по наблюдениям Хачатряна, тяжелые металлы проникают в почву на глубину до 25 см. Он отмечает, что в зоне загрязнения плохо развиваются огородные и иные растения.

В результате указанного, растения подвергаются агрессии дымо-газовых выделений не только в надземной части, но и вся подземная часть их вынужденно ассимилирует из почвы избыточные микроэлементы и другие соединения, что вызывает различные отклонения от нормы в области роста и развития, внешнего облика и физиологических процессов, а также химизме растений. Указанные причины ведут также к сложным ценоотическим изменениям.

Непосредственное влияние на почвогрунты оказывают механически оседающие аэрозоли и частицы, выпадающие с атмосферными осадками, а также связываемая почвой газовая фракция. Дымо-газовые выделения часто содействуют разрушению почвы.

Особенно разрушительное действие на почвы оказывают соединения сернистого газа. Убедительным примером этого являются окрестности г. Губахи, где расположены коксохимический и химический заводы. Здесь под влиянием концентрированных дымо-газовых выделений этих предприятий и накапливающейся в почве серной кислоты по склонам и вершинам возвышенностей, расположенных к югу и юго-востоку от заводов, наблюдаются все стадии разрушения растительного и почвенного покрова, что выражается в гибели лесов, от которых остались только мертвые пни, резком обеднении и исчезновении травянистой растительности, частичном разрушении и затем полном разрушении поч-

венного покрова на всю его глубину. В непосредственной близости от заводов в 1—2 км встречаются обширные пятна, лишенные почвы. Аналогичное явление обнаружено в районе химического завода г. Перми. Под влиянием концентрированных дымо-газовых выделений, особенно сернистого газа, по левому коренному берегу р. Камы и на 1,5—2,0 км на восток от нее почвы отсутствуют. На этом месте обнажились пески, среди которых сохранились очень редкие отдельные пятна почв, скрепленные вейником.



Рис. 1. Пример разрушения почв в районе химического завода г. Перми.

На территории многих заводов цветной металлургии и некоторых химических заводах почвы отравлены настолько, что на них отсутствует всякая растительность. Таковы почвы медеплавильных комбинатов, на Полевском криолитовом заводе и других. Такая же картина наблюдается и в ближайших окрестностях медеплавильных комбинатов, где точно так же исчезла растительность. Так, массив земель к востоку от Средне-Уральского медеплавильного комбината, отведенный подсобному хозяйству, после нескольких лет работы последнего, в настоящее время представляет мертвую пустыню или «дымовую пустошь», по Хёльте (Hölte W. 1958). Вредное действие сернистого газа в почве, по данным Оста (Ost K. 1956), особенно заметно на протяжении первых 2,5 км.

Несколько по-иному проявляется действие фтора, которым обогащаются почвы в районе фторвыделяющих предприятий. Так, в районе алюминиевых заводов повышенное содержание фтора

в почвах обнаруживается на много десятков километров. Даже с наветренной стороны этот избыток фтора прослеживается на 30 км. Тем не менее, повышенное содержание фтора в почве приводит к таким последствиям, как соединения сернистого газа. Так, Мак-Интайр (Mac-Intire W. H., 1957) утверждает, что атмосферный фтор, попадая в почву с осадками, на кислых почвах фиксируется алюмосиликатным комплексом и не оказывает заметного влияния на зеленую массу растений и на реакцию почвы. Внесение различных солей фтора в почву до 60 кг/га заметного влияния на рост растений не оказало. На щелочных почвах фтористо-водородная кислота связывается с Ca или Si. Мак-Интайр вместе с Хардином и Хардисоном (Mac-Intire, Hardin, Hardison, 1954) установили, что растения из почвы поглощают незначительное количество фтора, в то время как из атмосферы, что установлено при помощи ионизированных фторидов, они способны поглощать его значительно больше. Этим они, а также Тауэрс (1954), объясняют отравление скота, при выпасе последнего вблизи промышленных предприятий, выделяющих фтор.

Действие оседающей пыли на почву точно так же влияет неблагоприятно на плодородие почвы и ее физико-химические свойства.

В первую очередь представляет интерес действие каменноугольной золы, выбрасываемой ТЭЦ. При тонком помоле каменного угля, количество золы в воздухе достигает больших величин — до 1000 и более тонн в сутки. В Чехословакии Немец (Nemes A., 1958) в районе ТЭЦ установил, что под влиянием выпадающей золы почвы подкисляются. В почве ощущается недостаток Ca, Mg, K и P_2O_5 . Аналогичные работы здесь же были проведены Матерна и Плива (Materna I., Pliva K., 1958), которые установили, что в районе ТЭЦ слой золы достигал 30 см, на расстоянии в 300 м он снизился до 10 см, на расстоянии 1 км прослойка золы еще ясно обнаруживалась. Общую площадь, запыленную золой, они определяют в 100 га. Из вредных свойств слоя золы на почве они отмечают только быстрое высыхание поверхностного слоя золы, что неблагоприятно действует на развитие растений. Растворимые вещества золы отрицательно на растения не действуют. К положительным выводам о действии золы на почву приходит также Гофман Е. (Hofmann E. W., 1958), проводивший в Мюнхене опыты по изучению влияния золы Рурского бассейна на почву и урожайность овса, гороха, горчицы, гречихи и рапса. Золу смешивали с почвой в комбинациях 1 : 2 и 1 : 9 на фоне полного минерального удобрения. Внесение золы оказало нейтрализующее влияние на почву. В первый год наличие золы в почве оказывало сдерживающее влияние на урожайность растений, в последующие годы урожайность всех культур возросла.

Рис и Сидрак (Rees W. J., Sidrak G. H., 1955, 1956) многочисленными опытами показали высокое содержание в каменноугольной золе питательных элементов для растений, за исключением азота. Путем выращивания многочисленных растений-индикато-

ров они установили токсичность Mn и Al , как по внешним признакам, так и по анализам растений, накопивших повышенные количества этих элементов. Они же установили пределы количества золы в почве, после которых урожаи снижаются. Так, для ячменя таким пределом является 6 : 100, для капусты 25 : 100 и для горчицы 50 : 100.

Наблюдения в районе тепловых электростанций Урала, работающих на каменном угле, не опровергают приведенных данных. Здесь только трудно вычленить действие наносной золы, так как одновременно с этим на почву влияет сернистый газ. Во всяком случае, отрицательные результаты на развитии растений оказывает зола, оседающая на листья растений. Поражение растений и обеднение растительности должно быть отнесено исключительно за счет газовых компонентов, но не за счет загрязнения почвы золой.

По-иному действует загрязнение почвы тальковой пылью. В 0,5 км к востоку от Шабровского талькового комбината Свердловской области поверхность почвы покрыта слоем талька, в результате чего полностью исчезли древесные и травянистые растения. Очень сильное влияние на почву оказывает магнезитовая пыль. По данным Ю. З. Кулагина, в районе г. Сатка Челябинской области под влиянием осаждения магнезитовой пыли слабобокислые и кислые почвы с pH 4—6 стали щелочными и в настоящее время имеют pH 8—9.

Избыток тех или иных компонентов дымо-газовых выделений в почве прежде всего оказывает влияние на корневую систему растений, а также на химизм последних. В этой связи интересны сведения Джозетта (Jowett D., 1958) о поведении *Agrostis tenuis* и *A. stolonifera* на почвах, загрязненных солями тяжелых металлов (меди, цинка, свинца и никеля). При определении скорости роста корней этих растений в токсических растворах солей названных металлов оказалось, что корни растений с загрязненных пылью тяжелых металлов почв имеют большую скорость роста по сравнению с контролем. О влиянии тяжелых металлов на химизм растений говорит другой пример. В 0,5—5,0 км от свинцово-цинкового комбината содержание свинца в выращенных помидорах по сравнению с контролем было в 1,6—43,2 раза больше.

Эта особенность растений — концентрация имеющихся в почве рассеянных элементов — явилась основой для создания индикационной геоботаники и выделения целой группы растений-индикаторов на отдельные элементы дымо-газовых загрязнений.

Действие фтора. Фтористый водород и фториды продуцируются многими промышленными предприятиями, особенно в цветной и химической промышленности, при изготовлении алюминия, плавке стали, изготовлении криолита, эмалей, суперфосфата и др. Фтористый водород относится к числу самых агрессивных газов — его активность в 10—50 раз превышает активность сернистого газа. Его токсическое действие на многие растения проявляется при крайне незначительных дозах — до 0,1% на миллиард.

Фтористый водород вступает в активные соединения со многими элементами растений (Са, Мп и др.), с водой; может накапливаться организмами как на поверхности листьев, так и внутри растений.

В США раньше всего обратили внимание на гибель многих растений и снижение урожая под действием фтора. В частности, здесь хорошо изучено действие фтора на citrusовые, плодовые сады, виноградники, хлопчатник, посевы кукурузы и другие культуры.

В теории коррозий Рекендорфер (Reckendorfer P. 1955) дает следующую картину воздействия фтора на растения. Инфильтрация фтора в газообразном состоянии или растворенном виде в листьях растений происходит через вентиляционную систему листьев клетками ассимиляционной ткани по межклеточным пространствам. Здесь фтор вступает в активные соединения и включается в обмен веществ, проникая во все клетки по протоплазматическим телям, вступает в область хромофоров и флавоновых глюкозидов, растворенных в клеточном соке. Фтор и фториды активно соединяются с кальцием, образуя труднорастворимое соединение CaF_2 . Неблокированные ионы фтора связываются другими катионами: магнием, железом, калием, также образуя труднорастворимые соединения, в виде MgF_2 , FeF_3 и KF_3 , но это последнее ведет к разрушению хлорофилла, к изменению окраски, к нарушению ассимиляционной деятельности листьев. В силу этого невидимые формы поражения переходят в видимые и происходит частная или общая коррозия листьев, вплоть до полного некроза листьев. В связи с микрохимическим диагностированием Рекендорферу удалось показать избыток фтора в листьях, в виде соединения CaF_2 , при котором сохранялась еще зеленая окраска, и избыток фтора в соединениях с магнием и железом, когда окраска листьев имела все оттенки — от пожелтения до красного и темно-коричневого цвета.

В противовес этому Хилл, Транструм, Пак, Уинтерс (Hill A. C., Transtrum L. G., Pack M. R., Winters W. S, 1958), окуривая растения фтором в концентрациях более высоких, чем в атмосфере промышленных городов, указывают, что в этих условиях рост и развитие растений не нарушались, завязывание плодов происходило нормально, некрозы на листьях обнаруживались лишь при очень высоких концентрациях — порядка $77-46 \text{ мг/м}^3$. Они не наблюдали изменений в содержании хлорофилла, интенсивности дыхания и фотосинтеза. Отсюда они делают вывод о том, что соединения фтора не влияют на урожай и физиологические процессы в растениях, а поэтому отрицают теорию «скрытых повреждений», вызываемых фтором у растений.

Как будет показано дальше, точка зрения последних авторов ошибочна. Как исследованиями других авторов, так и нашими наблюдениями установлена широкая амплитуда поражений растений под влиянием фтора и его соединений.

Обычно происходит накопление фтора по краю листовой пластинки или на кончике листа у однодольных. Именно здесь в пер-

вую очередь появляются некротические пятна. После проявления краевого некроза вовлекаются срединные участки листа вплоть до его полной гибели. Часто пораженные участки листа легко разрушаются и тогда листья сильно деформируются.

Под влиянием высоких концентраций фтора часто наблюдаются тератологические изменения. Так, отмечены многочисленные образования пучка деформированных листьев у осины, уродливо тонких и многочисленных веток у тополя Болле, несущих по 2—3 листа и напоминающих «ведьмину метлу», образование нецветущих соцветий у дельфиниума и водосбора и др. Поэтому фтор в растениях способен поражать ткани растений и нарушать характер развития организмов.

Накопление фтора листьями происходит наиболее интенсивно в сухую погоду; во влажную — обычно фтор вымывается дождями (Vovay E. — Бове, 1934); Бингом, Мак-Коллок, Либиц и Ванселоу (Bingham F. G., Mac-Colloch R. C., Liebig V. F., Vanselow A. P. 1955), Лион, Бреннан, Дейнс (Leone J. A., Brennan E., Daines R. H. 1956).

Различные растения по-разному переносят содержание фтора в воздухе. Так, при концентрации фтора в количестве 3—10 мг на 100 г сухой массы растения апельсины и виноград страдали, яблоки и груши были более устойчивы. Отсюда делается вывод о том, что содержание фтора в количестве 0,1—1,0 мг на 100 г сухой массы считается вполне допустимым.

Мак-Налти, Ньюман (Mc Nulty J. B., Neuman D., 1955—1956), работая с персиковыми и сливовыми деревьями и изучая на них действие сублетальных концентраций фтора (0,0007—0,001%), установили снижение интенсивности дыхания этих растений под влиянием фтора, а также резкое снижение хлорофилла (в два и более раза). Ими для защиты растения от действия фтора предложен способ опрыскивания деревьев 14%-ным раствором извести (CaCO_3).

Зиммерман и Хитчкок (Zimmerman B. W., Hitchcock A. E., 1956), изучая чувствительность 49 видов растений к сернистому газу и фтору в специальных кабинах и разборных теплицах, указывают, что в тканях пораженных побегов и особенно листьях накапливается большое содержание F_2 . Если растения испытывают недостаток в воде, то они более устойчивы к HF , хотя содержание воды у некоторых (кукуруза и томаты) было больше, чем у других незавядавших. Лион, Бреннан, Дейнс в опытах на станции Джерси (США) при окулировании растений HF установили, что при кратковременном окулировании, но высокими концентрациями отрицательное влияние наблюдается больше со значительным накоплением F_2 . Они установили, что томаты в два раза устойчивее, чем зерновые. При малых концентрациях окулирования часть F выделяется обратно. Эти выводы подкрепляются работой Адамса, Хендрикса и Арлгейта ((Adams D. F., Hendrix J. W., Applegate H. W., 1957), изучивших влияние HF на 40 видах растений.

Интересны наблюдения Хендрикса, Холла (Hendrix J. W., Hall H. B., 1958) за различной чувствительностью к загрязнен-

ной фтором атмосфере разных сортов гладиолуса. У одних сортов листья поражены ожогами на 10%, у других на 60%. Самыми стойкими оказались сорта гладиолусов с наиболее длинными и широкими листьями. Кроме этого, весьма важны данные о сопротивляемости сортов по окраске цветов. Гладиолусы с пурпурными цветами поражались на 33,2%, светло-лиловыми — на 35,2%, красными — на 39,9%, розовыми — на 44,6%, желтыми — на 46,0%, белыми — на 47,5% и оранжевыми — на 53,3%.

Мейер Д. (Meyer D, 1962) приводит данные о том, что лепестки цветов более резистентны, чем листья, за исключением петунии. Кроме того, он указывает на поражение верхушек плодов сливовых и грушевых деревьев под влиянием фтора. Он же приводит большой список растений по их чувствительности к повреждающему действию фтора. Наиболее стойкими к фтору Мейер считает: водосбор, колокольчик крупноцветный, лобелию, петунью, хризантемы, ноготки, львиный зев, душистый горошек, циннии, портулак (из цветочных растений); томаты, кукурузу, хлопчатник, табак, бобы, огурцы, тыкву, капусту, лук, пастернак, морковь (из культурных растений); кизил, сирень, розу, яблоню, сосну, бирючину, лимон, белую акацию и др. (из деревьев и кустарников).

На Урале действие фтора было изучено в районе алюминиевых и криолитового заводов. Полевской криолитовый завод (ПКЗ) расположен в лесной предгорной части Зауралья, основан в 1907 году. Уральский алюминиевый завод (УАЗ), на этой же широте, находится в лесостепной части Зауралья, основан в 20-х годах, и Богословский алюминиевый завод (БАЗ) расположен от первых двух в 500 км на север в лесной зоне, основан 15 лет тому назад.

Различаются они и по количеству выбрасываемого в атмосферу фтора: на криолитовом и алюминиевых заводах суточный выброс фтора равен 1—2 т. На последних предприятиях высота труб 110—120 м, на криолитовом значительно меньше. Кроме фтора, на криолитовом заводе выделяются еще сернистый газ и окислы азота, а на алюминиевых заводах тепловыми электростанциями в больших количествах — сернистый газ и зола. В связи с указанным представляется возможным изучить действие фтора в соединении с сернистым газом на растительность, как по времени действий предприятий, так и по концентрации фтора. О последней можно судить из табл. 1.

Таблица 1

Средняя концентрация фтора с подветренной стороны

Расстояния, км	УАЗ	БАЗ	ПКЗ
0,3—0,5	0,070	0,047	0,047
1,0	0,056	0,013	0,037
1,5	0,054	0,027	0,056
2	0,032	0,076	0,025
3	0,024	0,017	0,040
4	0,053	0,023	0,020
5	0,043	0,068	

Под влиянием выделений на территории заводов и их окрестностях почвы сильно окислены благодаря, чему ежегодно для культурных посадок привозится свежая почва. Так, на Богословском алюминиевом заводе привезенная в 1957 г. почва для цветочных растений имела рН 6,4, а через год только 4,6. Около заводов в радиусе 0,5 км фтористые соединения проникают в почву на глубину до 38 см и достигают 32 мг фтора на 100 г сухого вещества почвы.

На всех заводах предпринимается энергичная попытка к озеленению. Изучение этого опыта, а также состояния естественной растительности дает богатый материал к пониманию действия фтора на растения.

В районе Криолитового завода древесная растительность с подветренной стороны исчезла на 11—13 км, в районе Богословского алюминиевого завода этот процесс только начинается. Поэтому представляется наиболее удобным проследить действие фтора на растительность по длительности этого влияния.

Самым молодым предприятием, как уже указывалось, является Богословский алюминиевый завод в г. Красноурьинске. Количество осадков около 500 мм, среднегодовая температура около 0°. Задержка в цветении декоративных растений по сравнению с г. Свердловском равна 14—30 дням. Окружен завод хвойными и смешанными лесами, в составе которых по степени участия преобладают сосна обыкновенная, ель, береза, пихта, лиственница, сибирская кедровая сосна и осина. Травянистая растительность представлена разнотравно-злаковыми лесными лугами.

Территория завода во многих местах по главному входу, в центральной части хорошо озеленена. Создан газон на привозном грунте из костра безостого (*Bromus inermis* Leyss) и клевера лугового (*Trifolium pratense* L.). Через 5 лет здесь добавились: пырей ползучий (*Agropyrum repens* (L. P. B.), полевица белая (*Agrostis alba* L.), сурепица (*Barbarea vulgaris* R. Br.), тмин (*Carum carvi* L.), выюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), мелкоцветник (*Erigeran canadensis* L.), тимopheвка луговая (*Phleum pratense* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), ястребинка (*Hieracium cimosum* L.), мышиный горошек (*Vicia cracca* L.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.). Благодаря хорошему уходу (полив и внесению удобрений) состояние растений вполне удовлетворительное и повреждения листовой поверхности под влиянием фтора почти отсутствуют. С этого участка ежегодно собирают семена для посевов. Все семена имеют хорошую всхожесть. С наветренной стороны электролизных цехов также разбит газон, злаки хотя и цветут, но семян не дают. Многократное искусственное опыление не привело к образованию семян. Очевидно, в условиях высоких концентраций фтора генеративные клетки повреждены. Если и формируются семена, то они не прорастают.

На цветочных клумбах в центральной части завода выращиваются: пиретрум, ноготки, бархатцы, тагетес, табак, цинния, виола, резеда, календула, астра, космея, львиный зев. Несмотря

на двухразовый полив и тщательный уход, большинство растений имеет хилый вид, на листьях видны многочисленные желтые, лиловые, бурые пятна. Лучше всех выглядят ноготки, календула, космея и львиный зев.

Древесные породы и кустарники в количестве 12 видов дали различные показатели резистентности. При условии двухразового полива лучше всего выглядят тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), ивы (*Salix caprea* L. и *S. dasyclados* Wimm.). Правда, посадки ив сильно пострадали от выпавшего на их листья каустика (NaOH). После их гибели на это место посадили тополь, но и он под влиянием каустика погиб. В других местах по заводу указанные древесные виды выглядят значительно лучше, хотя и имеют многочисленные повреждения под влиянием фтора. При этом для тополя и березы в заводских условиях отмечено снижение годового прироста. На основании измерений 5 экземпляров на заводе и в 1,5 км на юг в условиях меньшей загазованности по годам были получены следующие показатели годового прироста (в см):

	1956 г.	1957 г.	1958 г.	1959 г.
Береза пушистая (завод)	—	17	14	11
(в 1,5 км)	—	43	40	—
Тополь бальзамический				
(завод)	50	37	32	13,5
(в 1,5 км)	57	47	27	22

Из этих данных следует, что замедление годового прироста происходит в обоих случаях, но в заводских условиях это более резко выражено.

Другие растения дали следующие показатели. Черемуха (*Radus gasemosa* (Lam.) Gilib. имеет неприглядный вид: листья расположены на самых нижних ветвях, на верхушке и редко по стволу. Середина куста совершенно голая. Листья в ожогах, часто разорванные. Растения в таком виде декоративной ценности не представляют. У караганы (*Caragana arborescens* Lam.) листья на 75% некротизированы. Часть веток не имеет листьев вообще. У некоторых кустов листья развиваются вблизи корневой шейки. По своим размерам они в 3—4 раза меньше нормальных. Клен татарский (*Acer tataricum* L.) развивается плохо и выглядит так же, как и карагана. У липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) листья сильно обожжены, все в крупных бурых пятнах. Яблоня выглядит несколько лучше, чем липа. Хвойные: сосна обыкновенная и сибирская (*Pinus sibirica* (Rupr.) Mayr), а также можжевельник (*Juniperus communis* L.) больше двух лет не выдерживали условий высокой загазованности и погибали.

Большое положительное влияние на общее состояние растений оказывает механическая защита от фтора в виде стен зданий, заборов и других. Так, недалеко от электролизного цеха под защитой стены хорошо выглядят и имеют небольшое количество повреждений, кроме березы, тополя и липы, яблоня палласа и карагана.

В другом случае недалеко от анодного цеха у разрушенного деревянного забора в спиральях колючей проволоки до 1—2 м высотой хорошо растут ива, береза, сосна, осина (*Populus tremula* L.), рябина (*Sorbus aucuparia* L.), лиственница (*Larix sibirica* L.), шиповник (*Rosa cinnamomea* L.) и малина (*Rubus idaeus* L.) Все, что,



Рис. 2. Лес в зоне действия фтористых соединений.

перерастает витки проволоки, начинает повреждаться фтором, листья обжигаются, ветки и вершины деревьев засыхают.

Хорошо растут цветочные растения в непроизводственных помещениях. Например, в энерголаборатории и машиносчетной станции в центре завода недалеко от электролизных цехов прекрасно развиваются ирис, глоксиния, драцена и плющ, несмотря на то что в летнее время окна в этих помещениях открываются.

Из естественной растительности в самых загазованных местах между электролизными цехами встречаются крайне редко кустики бескильницы Гаупта. В свое время между электролизными цехами был создан газон, который вскоре погиб. На этом месте сохранилось небольшое пятно в 3—4 м², на котором, кроме бескильницы,

Встречены: тмин, щучка (*Deschampsia caespitosa* (L.) P. B., овсяница красная (*Festuca rubra* L.), мятлик луговой и мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.). Почти все растения имеют карликовый вид, сильно повреждены, покрыты толстым слоем пыли, но цветут. Встречено небольшое пятно из осоки (*Carex* sp.).

По данным наблюдений, от завода с подветренной стороны на расстоянии 1 км сосна погибла на 100%, на расстоянии 2 км — на 75%, 3 км — 49,7%, а лиственница всего на 26%. У сосны на всем этом пространстве за последние 4 года прирост почти отсутствует. В связи с этим хвоя у сосен на верхушках веток собрана плотными пучками, отчего крона сосны сильно осветлена и имеет уродливый «клочкообразный» вид. В этой зоне сильно страдают и лиственные породы, годовой прирост у них снижается, кроны осветлены, количество листьев и их площадь значительно уменьшены.

В 1 км на восток с подветренной стороны смешанный гибнущий лес из сосны, ели (*Picea obovata* Ldb), пихты (*Abies sibirica* Ldb), березы, осины весь суховершинит. Хвоя только в нижней части ствола у ели и пихты, а у сосны отдельные пучки на концах ветвей. У пихты хвоя с нижней стороны вдоль пластинки свертывается. Ель и пихта в нижней части кроны выглядят значительно лучше сосны. У березы все листья обожжены и сидят только на отдельных ветках. У осины листья сохранились только на самых нижних ветках, часто над самой землей. У шиповника коричневого все листья имеют красноватый оттенок и очень мелкие. В изреженном злаковом растительном покрове следы повреждений имеются у немногих форм, в частности, сильно повреждены нижние листья у чины (*Lathyrus pratensis* L.) у остальных некротизированы только верхушки листьев. Так же выглядит кукушкин цвет (*Coronaria flosculi* (L.) A. Br.). У одуванчика (*Laraxacum officinale* Web) края листьев кремово-желтоватые, у ожики (*Luzula pilosa* L.) верхняя половина листьев окрашена в желто-бурый цвет.

В глубь этого леса под защитой передней полосы деревьев пораженность последних несколько понижается, но картина гибели леса совершенно очевидна. Травянистый покров становится более разнотравным. У майника (*Majanthemum bifolium* (L.) Fr. Schmidt), верхушки листьев желтые или буроватые.

В 3 км в этом же направлении на подступах сопки Петропавловский Камень расположен сосновый лес с примесью ели и пихты. Больше всего повреждена сосна. Ее хвоя, сизо-зеленая и бурая, изрежена, верхняя часть кроны часто сухая. Гораздо лучше выглядят ель и пихта. Береза и осина, как и сосна, суховершинят и верхняя часть кроны имеет сильно поврежденные листья. На сосновом подросте и кустарниках действие фтора не проявляется и они имеют нормальный вид. Травянистые растения точно так же не несут следов повреждений.

От сопки Петропавловский Камень к северу и к югу было сделано около 10 геоботанических описаний и везде было отмечено

поражение сосны, березы и осины в первую очередь, по сравнению с другими породами. На открытых местах вдоль просек и дорог пораженность деревьев значительно полнее и годичный прирост у сосны почти отсутствует.

У травянистого растения грушанки (*Pyrola rotundifolia* L.) листья обожжены, завернуты вниз, чернеют, так же темнеют листья у черноголовки (*Prunella vulgaris* L.).

На северо-запад от завода в 3 км на берегу вдоль р. Туры березовый молодняк суховеершинит, в то время как взрослый хвойный лес в 100 м от реки выглядит хорошо, особенно лиственница.

На северо-запад в 10 км в парке при горбольнице г. Карпинска, в котором имеются сосна сибирская и обыкновенная, ель, пихта и др. породы, все экземпляры сосны обыкновенной имеют побуревшую хвою и явные признаки повреждений. В самом г. Карпинске нет источников загрязнений и поэтому повреждения сосны могут быть отнесены только за счет фтора, который проникает сюда по долине р. Туры.

В соцгороде Богословского алюминиевого завода на юг и запад от завода большинство посадок, особенно взрослые растения, кроме тополей, имеют следы повреждений. Это хорошо заметно на соснах у пруда, на липах вдоль улиц, на березах. На лиственнице следов повреждений не отмечено.

На юго-запад от завода в 6 км расположена роща из сосны сибирской. Все деревья находятся в хорошем состоянии. В 4 км на юг от завода в поселке Медная Шахта у школы 24 дерева сибирской сосны. 60% сосен суховеершинят, у 3-х деревьев поражена вся крона, кроме нижних двух-трех ветвей. Хвоя на 30% бурая. Деревья много лет не плодоносят. В лесах на запад от завода, начиная с 1,5 км никаких следов повреждений не обнаружено.

Под влиянием фтора длина хвои уменьшается почти в два раза. Имеется тенденция уменьшения хвои по годам у деревьев с подветренной стороны. Если годовой прирост у сосны с наветренной стороны выражается в 12 см, то с подветренной он или отсутствует или же достигает 3—4 см.

Таким образом, влияние высоких концентраций фтора сказывается на поражении древесных растений, в первую очередь хвойных. Травянистая растительность от воздействия фтора страдает в меньшей степени. Чаще всего поражаются наиболее нежные газоустойчивые растения, которые, очевидно, в последующем должны в первую очередь выбыть из травостоя. Так, на запад от завода в лесах часто встречаются орхидные, в то время как в восточном направлении последние не обнаружены, что позволяет предполагать, что они исчезли из травостоя в первую очередь. На очереди стоят многие однодольные.

Уральский алюминиевый завод в г. Каменске-Уральском, один из старейших в стране алюминиевых заводов, расположен в лесостепной зоне. Количество осадков около 400 мм, среднегодовая температура. Рельеф равнинный. В прошлом в районе завода

были расположены сосново-березовые леса, которые затем исчезли. Действие фтора здесь комплексировается с выделениями Красногорской ТЭЦ, которая ежесуточно выбрасывает около 400 т сернистого газа и 1400 т золы. Дымо-газовые выделения оказывают серьезное отрицательное влияние на соцгород и поэтому уже давно возникла проблема озеленения завода и соцгорода газоустойчивыми растениями.

В ближайших окрестностях завода поверхность почвы покрыта толстым слоем золы и по этой причине исчезло большинство видов. Здесь распространены заросли полыни (*Artemisia Sieversiana* Willd), которая нормально развивается и никаких следов повреждений не имеет. Вместе с нею и под ее защитой встречен пырей ползучий, бескильница Гаупта, мятлики луговой и однолетний (*Poa annua* L.), изредка щучка, а также выюнок полевой, икотник (*Berteroa incana* (L.) D. C., мать-и-мачеха и некоторые другие.

На территории самого завода между электролизными цехами растительность отсутствует, но рядом с ними вдоль главного входа создан газон из пырея ползучего и полыни. В период ожога пырея высокими концентрациями фтора листья его краснеют, но впоследствии приобретают прежнюю окраску.

На заводе ежедневно применяется двукратный полив растений. Благодаря этому здесь стало возможным выращивание многих цветочных, кустарниковых и древесных растений. Полив производится путем разбрызгивания воды через косо поставленные патрубки с крупными отверстиями. Та часть растений, которая периодически орошается, чувствует себя хорошо. В этих местах поселяются даже такие растения, как лопух (*Arctium tomentosum*), имеющий слабые следы поражений.

Интересна аллея из бальзамического тополя по дороге к глиноземному цеху. Между двумя рядами тополей проложен водопровод с мелкими ситовидными распылителями. Тополя выглядят очень хорошо, имеют крупные ярко-зеленые листья и даже на вершине их нет следов поражений. Внизу создалась декоративная стенка из хорошо развитого выюнка полевого. Посадки этого же тополя на остальной территории завода имеют хорошо развитую нижнюю часть кроны, а верхушка почти не растет и очень осветлена. Все листья мелкие, имеют некротическую черную кайму, которая при легком прикосновении отламывается. Сирени, обыкновенная и венгерская (*Syringa vulgaris* L. и *S. josicaca* Jaeg.), имеют пораженные листья, рост в высоту у них задерживается. У караганы листья за сезон многократно обжигаются; опадают и вновь восстанавливаются.

У декоративных растений, таких, как петунья, лепестки целиком или только края их под влиянием фтора желтеют или чернеют. У дельфиниума и водосбора соцветия перерождаются и на месте синих цветов образуются зеленые листообразные выросты. На боковых ветвях тополя Боле (*Populus Bolleana* Lauche) на территории коттеджей отмечены многочисленные тонкие веточки из одного

пункта, на каждой из которых формируется по 2—3 листа. В целом такой пучок напоминает образование типа «ведьминой метлы».

Из естественной растительности сохранилось несколько взрослых суховершинящих берез в районе коттеджей (300 м) и одна у Дворца Алюминщиков (200 м). Со следами повреждений имеется небольшая рощица берез в парке (800 м).

К северо-востоку за р. Исеть в 1 км от завода тянется смешанный лес из березы и сосны. Сразу вдоль реки шириной в 300 м тянется березняк высотой в 1,5—2,0 м. Стволы деревьев сильно искривлены, наиболее высокие экземпляры суховершинят, на многих листьях ржавые пятна. Единичные экземпляры сосен до 15—20 м высотой суховершинят и имеют буро-желтую хвою на 65%. Травянистый покров разреженный до 10 см высотой, главным образом из полыни Сиверса.

Следующая зона состоит из березняка с высотой до 10 м и редкими соснами, примерно в том же состоянии. В травянистом покрове полынь исчезает, так как уменьшается слой золы на почве и появляются многочисленные представители разнотравья: герань (*Geranium silvaticum* L.), лабазник (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim, подмаренник (*Galium boreale* L.), малина, василистник (*Thalictrum simplex* L.) и др.

В двух километрах от завода в этом же направлении начинается сосновый бор с высотой деревьев до 30 м с небольшими следами поражения. Между прочим, в сухую погоду этот бор приобретает желто-зеленую окраску, после дождей он становится зеленым.

В дальнейшем вопрос о характере повреждений разбирается по состоянию культурных насаждений на заводе, в соцгороде, Чкаловском районе города и материале опытных площадок, заложенных в 1952 г. Институтом коммунального хозяйства на расстояниях от завода в 100, 300 и 800 м.

Данные о состоянии древесной, кустарниковой и травянистой культурной растительности позволяют охарактеризовать общую картину повреждений растений и особенности их развития. Повреждения тем меньше, чем в более раннем возрасте высажены растения. В год посадки саженцы обычно чувствуют себя нормально. Со второго года начинается мучительный период адаптации, который продолжается несколько лет. За этот период обычно у древесных и кустарниковых видов отмирает вершина, сильно поражаются листья, а часть видов отмирает вообще. У сохранившихся видов с годами повреждений становится все меньше и меньше и начинается медленный рост в высоту.

Первые повреждения обычно начинаются с листовых и цветочных почек. Почки набухают, молодые листочки вполне развиты, но затем наступает гибель, и почки, так и не развернувшись, начинают засыхать. Аналогичная картина прослеживается и на цветочных почках. Так, у бузины (*Sambucus racemosa* L.) в 100 м от завода весной 1959 г. цветочные почки набухли и начали распускаться, но затем почернели и засохли. У некоторых видов пора-

жаются бутоны. По этой причине не цветет домашняя яблоня в 300 м от завода. Часто поражаются генеративные органы цветов и в связи с этим не образуется семян у сирени (*Syringa persica* L.) и других видов. При этом отмечено, что чем выше почки от поверхности земли, тем на более ранней стадии наступает их гибель.

Следующие, хорошо заметные повреждения прослеживаются на листовой пластинке. Они характеризуются интенсивностью отклонения окраски и изменением конфигурации. Начальная стадия повреждения начинается с хлороза в виде узкой каймы по краю листьев, как это наблюдается у караганы, или в виде желтых пятен между жилками листа, как у сирени обыкновенной. Более сильные повреждения выражаются красно-бурыми и ржавыми пятнами на пластинке листа, что наблюдается у яблони, кизильника (*Cotoneaster lucida* Schlecht.), ясеня (*Fraxinus pubescens* Lam.), жимолости (*Lonicera tatarica* L.), смородины (*Ribes nigrum* L.). Сублетальный характер повреждений связан с появлением морщинистости и почернения листа (общего некроза). В связи с некрозом пластинка листа становится хрупкой, пораженные участки легко выкрашиваются и лист приобретает неправильные очертания. Часто листья бывают разорванными. Иногда наблюдаются и другие формы повреждений, а именно: отслаивание коры у черной смородины, белого тополя, снежных ягод (*Symphoricarpos racemosus* Mich.). В случае повреждения верхних ветвей и вершины у древесных и кустарниковых растений просыпаются спящие почки в нижней части ствола. Деревья и кустарники в этом случае приобретают шатровый вид.

Как уже указывалось, в 1952 году были заложены три опытных площадки на расстоянии 100, 300 и 800 м от завода, на которых были высажены 42 вида деревьев и кустарников.

На первой площадке в условиях самой высокой концентрации фтора ($0,023\text{--}0,035\text{ мг/м}^3$) сохранилось только 7 видов, но и те находятся на грани гибели. Чувствуют себя более или менее удовлетворительно лох серебристый (*Eleagnus argentea* Pursh.) и тополь бальзамический. На площадке в 300 м при концентрации фтора $0,011\text{--}0,029\text{ мг/м}^3$ сохранилось 39 видов, хотя многие и здесь находятся в угнетенном состоянии. В хорошем состоянии находятся лох серебристый и узколистный (*Eleagnus angustifolia* L.), облепиха (*Hipporhae rhamnoides* L.), тополь бальзамический, сирень персидская и сирень обыкновенная, миндаль (*Amygdalis communis* L.), крушина (*Rhamnus cathartica* L.), шиповник. Участок 3 при расширении соцгорода погиб и вместо него приводятся данные о зеленых насаждениях на расстоянии 500—800 м от завода.

Все данные о состоянии древесных пород приведены в таблице 2.

Так же, как и на Богословском алюминиевом заводе, отмечается положительное значение всякого рода механических преград и живых изгородей на рост и развитие растений. Так, в 200 м от завода высажена широкая полоса тополей. Краевые деревья имеют сильно пораженную листву и незначительную высоту. Под их защитой

следующие деревья имеют меньше повреждений на листьях и более высоки. Другой пример еще более разителен. На заводе уступы здания опытной лаборатории боярышник (*Crataegus sanguinea* Pall.) выглядит почти нормально, в то время как в сквере за пределами завода, за 200 м от него, ничем не защищенный, этот же вид боярышника крайне угнетен, все листья покрыты ржаво-бурыми пятнами, суховершинит.

Таблица 2

Таблица оценки газоустойчивости растений в районе
Уральского алюминиевого завода

№ п/п.	Название растений	Завод	Вне завода		
			100 м	300 м	500— 800 м
1	Клен гиннала — <i>Acer ginnala</i> Maxim.	—	0	2	—
2	Ирга — <i>Amelanchier spicata</i> (Lam.) c. Koch.	—	0	3	4
3	Миндаль — <i>Amigdalis communis</i> L.	—	—	4	—
4	Барбарис — <i>Berberis Thunbergii</i> DC.	—	0	2	—
5	Карагана — <i>Caragana arborescens</i> Lam.	3	2	5	5
6	Вишня — <i>Cerasus fruticosa</i> Pall.	—	0	2	—
7	Дерен — <i>Cornus alba</i> L.	—	0	3	4
8	Кизильник — <i>Cotoneaster lucida</i> Schlecht.	2	0	4	4
9	Кизильник — <i>Cotoneaster vulgaris</i> L.	2	2	4	5
10	Боярышник — <i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	4	0	4	5
11	Лох — <i>Eleagnus angustifolia</i> L.	—	2	5	5
12	Лох — <i>Eleagnus argentea</i> Pursch V.	2	3	5	5
13	Бересклет — <i>Euonymus europea</i> L.	—	1	3	—
14	Ясень — <i>Fraxinus excelsior</i> L.	4	1	3	5
15	Облепиха — <i>Hippophae rhamnoides</i> L.	—	—	5	—
16	Можжевельник — <i>Zuniperus communis</i> L.	3	—	—	—
17	Жимолость — <i>Ionocera tatarica</i> L.	2	—	2	3
18	Яблоня — <i>Malus domestica</i> Borh.	3	—	—	5
19	Черемуха — <i>Padus Maackii</i> (Rupr.) Kom.	—	—	2	3
20	Черемуха — <i>Padus virginiana</i> (L.) Mill.	—	0	3	4
21	Черемуха — <i>Padus racemosa</i> L.	—	0	3	4
22	Спирей — <i>Spiraea salicifolia</i> L.	—	0	3	—
23	Тополь — <i>Populus balsamifera</i> L.	4	4	5	5
24	Тополь — <i>Populus tristis</i> Fisch.	—	4	—	—
25	Крушина — <i>Rhamnus cathartica</i> L.	2	0	3	5
26	Смородина — <i>Ribes alpina</i> L.	4	0	4	—
27	Смородина — <i>Ribes nigrum</i> L.	4	0	4	—
28	Шиповник — <i>Rosa rugosa</i> Thunb.	4	0	5	—
29	Шиповник — <i>Rosa cinnamomea</i> L.	—	0	5	—
30	Ива — <i>Salix rossica</i> Nas.	5	—	—	—
31	Ива — <i>Salix latifolia</i> Forbes.	5	—	—	—
32	Снежнаягодник — <i>Symphoricarpus racemosus</i> Much.	4	—	—	—
33	Бузина — <i>Sambucus racemosa</i> L.	—	1	3	4
34	Рябина — <i>Sorbus aucuparia</i> L.	—	0	2	4
35	Сирень — <i>Syringa persica</i> L.	3	0	5	5
36	Сирень — <i>Syringa villosa</i> L.	3	0	5	—
37	Сирень — <i>Syringa vulgaris</i> L.	4	0	4	5
38	Вяз — <i>Ulmus foliaceae</i> Gilib.	—	0	4	—
39	Вяз — <i>Ulmus laevis</i> Pall.	3	—	—	5
40	Гордовина — <i>Viburnum laurana</i> L.	—	0	4	—
41	Калина — <i>Viburnum opulus</i> L.	—	0	3	—

Шкала оценок

- 0 — полная гибель растения;
- 1 — листья только в нижней части ствола сильно повреждены. Верхние ветви и вершина погибли;
- 2 — много голых ветвей, вершина сухая. Листья со следами значительных повреждений;
- 3 — часть ветвей или только верхушка лишены листьев. На листьях имеются следы повреждений. Наблюдается разнолистность;
- 4 — повреждения небольшие (до 30%). Имеется разнолистность. Растения цветут;
- 5 — повреждения незначительные до 10% или отсутствуют. Растения цветут и плодоносят.

Изучение растительности в районе Уральского алюминиевого завода позволило выявить различные формы поражений растений под влиянием фтора, сернистого газа и запыления, установить ассортимент газоустойчивых растений. Помимо этого выяснено положительное значение групповых посадок и роль систематического водного душа растений.

Полевской криолитовый завод расположен в предгорной части Зауралья в лесной зоне. Рельеф нарушенный. Почвы от грубохрящеватых оподзоленных суглинков до слабоподзоленных суглинков. Среднегодовая температура около 0°, осадков выпадает около 430 мм. Окружающие леса на 45% сосновые и на 38% березовые.

Криолитовый завод выделяет фтора 1 т, сернистого газа 6 т и окислов азота 7 т. Благодаря длительности загрязнения атмосферы результаты воздействия на растительность здесь наиболее выражены. Собранный материал позволяет охарактеризовать состояние естественной и культурной растительности.

В прошлом завод был расположен среди сосновых лесов с елью, пихтой, лиственницей, березой, липой и другими видами. Сейчас леса полностью исчезли на запад (наветренная сторона) на 2—3 км и на восток и северо-восток (подветренная сторона) на 11—13 км. Но это первые форпосты лесной растительности, на самом деле границы воздействия фтора должны быть отодвинуты дальше. К настоящему времени под влиянием выделений завода погибло свыше 4000 га леса, а общая площадь, на которой поражается лесная растительность, превышает 10 000 га. Ниже дается характеристика состояния растительности в районе завода.

С наветренной стороны неповрежденная растительность начинается с г. Азов-гора в 7 км на запад от завода. Здесь расположен смешанный лес с пышным растительным покровом. Из деревьев распространены: сосна обыкновенная, ель, лиственница, можжевельник, пихта, береза пушистая и бородавчатая (*Betula verrucosa*), осина, рябина, черемуха, липа; из кустарников: жимолость, шиповник коричный, малина, брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.).

В травянистом покрове зарегистрированы: золотая розга (*Solidago virgaurea* L.), клевер (*Trifolium lupinaster* L.), скрипун (*Sedum acre* L.), гвоздика (*Dianthus deltoides* L.), лилия (*Lilium martagon* L.), сочевичник (*Orobancha vernus* L.), ястребинка (*Hieracium*

pilosella L.), герань лесная и луговая, медунца (*Pulmonaria mollissima* Kern.), василистник (*Tnalictrum simplex* L.) и другие — всего 58 видов.

Вдоль просек под влиянием дымо-газовых выделений хвойные исчезли почти вплоть до г. Азов-гора, отсутствует естественное возобновление. Несколько встреченных экземпляров засыхают. Между г. Азов-гора и пос. Зюзелка, в 4 км к северо-западу от завода, лес имеет сложный состав с крупными деревьями лиственницы, сосны, ели, пихты, липы, березы, осины, рябины, калины, шиповника. Местами липа составляет живописные куртины. По мере приближения к поселку Зюзелка лес беднеет и у самого поселка встречается только сосна.

Между заводом и пос. Зюзелкой сосна начинает суховершинить, хвоя изреживается и приобретает светло-зеленый оттенок на $\frac{1}{3}$ или $\frac{1}{2}$ с побуревшими кончиками игл. В 2 км от завода сосна исчезает и далее на протяжении 1 км к заводу идет низкий березовый лес с козьей ивой. У обоих видов листва на 20—30% изрежена, а у опушечных на 50—70% поражена, что выражается в побурении кончиков листьев и бурых пятен в средней части листа. Как правило, больше поражена верхняя часть кроны и сторона, обращенная к источнику загрязнения.

Далее к заводу идет серия прудов со сточными водами и различными отвалами с крайне редкой растительностью и затем начинаются населенные пункты.

Полевской криолитовый завод окружен рабочими поселками Криолит, Мыс, Первомайский и другие. В первых двух концентрации фтора достигают 7,01—9,9 мг/м³. Стекла рам в домах под действием плавиковой кислоты матовые. На всех приусадебных огородах резко снижен урожай овощных и продовольственных культур. При изучении состояния культур в 14 хозяйствах выяснилось следующее: картофель никогда не цветет, листья поражаются на 30—50%, корнеплоды имеют неприятный привкус. Урожай ниже обычного в 3—4 раза. Помидоры и огурцы цветут, но не плодоносят. Листья у огурцов повреждаются на 80%, у помидоров и лука — на 50%. Бобы не дают плодов, вырастают низкими. Хорошо растут и почти не повреждаются: морковь, редис, салат, табак и хрен.

Благодаря тщательному уходу и вносимым удобрениям перед домами выращиваются некоторые декоративные растения. К ним относятся: дельфиниум (листья и соцветия сожжены на 40%), цинния (листья обжигаются на 30%), гвоздика (листья обжигаются на 40%), виола, поповник, космея, георгины (листья обжигаются на 25%). В большинстве усадеб вдоль стен в качестве вьющегося растения используют хмель (*Humulus lupulus* L.), создающий высокие зеленые стенки. И хотя у него листья некротизируются на 30—40%, он весьма декоративен и держится в зеленом состоянии до глубокой осени.

Перед некоторыми домами в палисадниках сохранились деко-

ративные кустарники и деревья — кусты сирени, тополя, черной смородины, крыжовника, черемухи. У сирени верхние $\frac{2}{3}$ куста погибли и только нижняя треть выбрасывает листья, 30 % которых частично некротизированы. У тополей больше половины кроны засохло, листья с бурыми пятнами сохранились только на нижней половине. Таковы же черемуха и черная смородина. Причем оба растения дают очень мало плодов. Попытки выращивания березок (из леса) кончаются неудачей.

Из травянистых растений по улицам и вдоль забора широко распространены: спорыш (*Polygonum aviculare* L.), мать-и-мачеха, марь (*Chenopodium album* L.), ромашка (*Matricaria matricariodes* (Less) Porter.), хориспора (*Chorispora tenella* (Pall.) DC.), крапива (*Urtica dioica* L.), подорожник (*Plantago major* L.), пырей и некоторые другие. У большинства листовая поверхность повреждена, например, у крапивы на 50—80 %.

На территории самого завода встречены редкие растения вдоль заборов и небольшие пятна растений за укрытиями вдали от фтор-выделяющих цехов. Многие из растений настолько сильно повреждены и видоизменены, что с трудом приходилось определять их видовую принадлежность. Были встречены следующие растения: спорыш, мать-и-мачеха, крапива, лапчатка (*Potentilla norvegica* L.), подорожник, хориспора, куль-баба (*Leontodon autumnalis* L.), тмин, пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Med.), лебеда (*Atriplex tatarica* L.).

В ближайших окрестностях с подветренной стороны завода растительный покров обеднен и носит ярко выраженные следы поражений, за исключением тех случаев, когда он находится под защитой кустарников или в укрытиях. Так, на северо-восток на старой залежи в 1,5 км от завода растения встречаются преимущественно по плужным бороздкам. Здесь отмечены: льнянка (*Liparia vulgaris* Mill.), пырей, крапива, мать-и-мачеха, земляника (*Fragaria vesca* L.), ясколка (*Cerastium arvense* L.), ракитник (*Cytisus ruthemismus* L.), хвощ (*Equisetum arvense* L.), осока (*Carex digitata* L.), клевер, лапчатка гусиная, иван-чай (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Береза, осина, ива (все три не более 10—20 см с поражением листовой поверхности на 60—90 %, особенно у осины).

В 2 км по дну каменных разработок широкое пятно древесной и кустарниковой растительности высотой до 1,5—2 м. Здесь хорошо развиты ракитник, шиповник (*Rosa canina* L.), береза, ива, осина. Из травянистой растительности из новых растений встречены: манжетка (*Alchemilla vulgaris* L.), лютик едкий (*Ranunculus acer* L.), ястребинка, одуванчик, тмин, вейник (*Calamagrostis neglecta* (P. B.) Kansch.) и другие. Краевые березы имеют 100 %-ное поражение листвы, из них 40—70 % засохли полностью. Дальше у всех представителей берез, ив и осины поражения захватывают только самую верхушку растений, где поражения у березы достигают 75—90 %, ивы до 76 %, у осины до 60 %. При этом нужно иметь в виду, что ивы и осины всегда ниже березы на 0,5—1,0 м. В верх-

ней половине у осин развиваются уродливые пучки листьев. По этому же направлению в 4—5 км по склонам и вершине горы Остренькой несколько сильно угнетенных берез. Большая часть склонов лишена растительного покрова и затянута поврежденным моховым покровом. Из растений одиночно и пятнами встречены: овсец (*Avena desertorum* Leyss.), колокольчик (*Campanula* Sp.), костер, василистник, клевер луговой, крупка (*Draba nemorosa* L.), ветреница (*Pulsatilla patens* (L.) Mill.), раkitник, фиалка (*Viola argvensis* Murr.) и некоторые другие. У василистника все листья поражены и имеют уродливый характер. У злаков на одну треть и половину верхушки листьев буровато-красные.

На восток от завода по понижениям и в укрытиях тянутся полосы растительности из мать-и-мачехи, куль-бабы, лапчатки гусиной, крапивы, спорыша, мари белой, лебеды татарской, пастушьей сумки, изредка встречается пырей ползучий и пятна из хохлопы.

Интересно отметить, что мать-и-мачеха часто занимает самые возвышенные положения, где больше никаких других растений не встречается, хотя имеет наполовину и более пораженные листья.

Между заводом и пос. Мыс в понижении буйная и почти неповрежденная растительность из гранатника (*Libanotis intermedia* Bupr.), дающего аспект. Отдельные пятна в виде включений из подорожника (*Plantago lanceolata* L., *P. media*), кровохлебки (*Sanguisorba officinalis* L.), подмаренника северного, люцерны желтой (*Medicago falcata* L.), куль-бабы, лапчатки прямостоячей и серебристой (*Potentilla erecta* L.), Raüsch., *P. argentea* L.) пижмы (*Lanacetum vulgare* L.), пырея ползучего, щучки, мятлика, хвоща, овсяницы. Много мест, затянутых сплошным моховым покровом. В трех километрах на восток от завода по склонам к р. Чусовой большой массив можжевельника с красной и бурой хвоей. Здесь же у электростанции небольшой высокий сосновый лес, весь суховершинный, оставшаяся хвоя на 50% и более бурая. Молодые сосенки точно так же имеют сильно пораженную хвою. В 5 км от завода пологая вершина покрыта крайне пораженным сосняком до 3 м и березками до 2 м высотой. Хвоя на $\frac{3}{4}$ темно-бурая, наполовину отпала, у березы поражения листьев доходят до 80%. У рябины листья поражены на 80%, у можжевельника — на 40%. Раkitник, как и раньше, следов поражений не имеет. Встречен шиповник и кизильник; из травянистого покрова — вейник, вероника (*Veronica chamaedrys* L.), тысячелистник, подмаренник, гранатник, медвежье ухо (*Verbascum thapsus* L.), кровохлебка, фиалка (*Viola canina* L.), кошачья лапка (*Antennaria dioica* (L.) Gaerth), какалия (*Cacalia hastata* L.), звездчатка, смолевка, хвощ и др. На каменистой вершине — овсяница красная, лапчатка серебристая и прямостоячая, пырей, щавель воробьиный (*Rumex acetosella* L.), клевер люпиновидный, тысячелистник, овсяница овечья (*Festuca ovina* L.), клевер ползучий (*trifolium repens* L.), подорожник, щучка, иван-чай, мелколестник,

гранатник. Только немногие из травянистых растений имеют следы поражений, в частности, они отмечены у иван-чая, верхушек тысячелистника и мелкопестника.

На юго-восток от завода по сырому болотистому понижению заросли ив с сильно пораженными листьями и кусты можжевельника с покрасневшей хвоей. Это пятно тянется к р. Чусовой почти на 1 км. Травянистая, преимущественно осоковая, растительность не повреждена. На северо-восток от завода около пос. Северского и сразу за ним идет высокоствольный сосновый лес. У всех деревьев крона осветленная за счет опавшей хвои. Сохранившаяся хвоя на $\frac{2}{3}$ и более бурая. По просекам и по самому лесу примерно на 100 м в глубь леса подрост отсутствует.

Если все описания растительности, по количеству встречающихся видов на фиксированных расстояниях расположить в ряд по основным группам, то получится достаточно характерная картина видовой насыщенности растительного покрова в различных направлениях от источника загрязнения.

Таблица 3

Количество видов в районе фторвыделяющих заводов

	Наветренная сторона				Источник загрязне- ния	Подветренная сторона		
	7 км	5 км	3 км	1 км		1 км	3 км	5 км

Богословский алюминиевый завод (около 15 лет)

Деревья (хвойн.) . . .	—	5	4	2*)	0	2*)	4*)	—
» (листвен.) . . .	—	4	4	3*)	1*)	2*)	3*)	—
Кустарники	—	6	6	4*)	3*)	3*)	4	—
Травян. растения . . .	—	46	38	26	11*)	16*)	22	—

Криолитовый завод (с 1907 г.)

Деревья (хвойн.) . . .	5	4	2*)	1*)	0	0	1*)	2*)
» (листвен.) . . .	5	5	3	2*)	0	0	2*)	2*)
Кустарники	6	4	3	3*)	0	2*)	4*)	4*)
Травян. растения . . .	6	46	24	18*)	0—7*)	15*)	22*)	24

Из этой таблицы видно, что процесс деградации растительности в районе Богословского алюминиевого завода только начинается и прослеживается на небольшой территории, в то время как в районе криолитового завода он принял ярко выраженные формы и наблюдается на больших расстояниях. В литературе обращено внимание только на гибель деревьев и кустарников, оказывается, что такой же участи подвергаются многие виды травянистых растений

*) Растения со следами повреждений.

и заменяются малоценными мусорными (рудеральными) растениями.

В наиболее задымленной зоне на территории завода и его окрестностях к числу устойчивых травянистых растений относятся некоторые представители семейств (в порядке их резистентности) маревых, гречишных, крестоцветных, розоцветных, сложноцветных, хвощевых, злаковых и бобовых. Из кустарников почти не имеет повреждений ракитник, затем, имея сильные повреждения, вблизи заводов растут ивы козья и белая, береза пушистая (только в виде кустарника) и можжевельник. Из декоративных — вьющийся хмель, цветочных — анютины глазки, ноготки, циннии, матиола, астра. В отношении огородных культур наиболее устойчивыми оказались морковь, салат, хрен, сельдерей. Все остальные растения имеют поражения от слабых до очень сильных. Декоративные деревья и кустарники дают отрицательный результат.

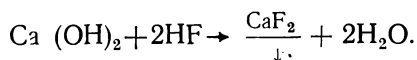
Из лесных хвойных пород первыми исчезают пихта, ель, затем лиственница и сосна; из лиственных — липа, рябина, калина, осина и в последнюю очередь березы и ивы.

Опыты по выращиванию растений в условиях высоких концентраций фтора

В связи с большими затратами на озеленение заводских территорий, постоянной гибелью растений и постоянными запросами заводских озеленителей помочь решить эту проблему, в 1959 году были поставлены опыты по выращиванию растений в условиях высоких концентраций фтора одновременно на Богословском алюминиевом и на Полевском криолитовом заводах. На последнем опыт был продолжен и в 1961 году.

В основу опыта были положены наблюдения 1958 г. на Богословском алюминиевом заводе. На обширной безжизненной территории вблизи электролизных цехов в одном месте у колена трубы летнего водопровода из мелких трещин били фонтанчики воды и только в этом месте образовалось небольшое пятно из кустра безостого высотой до 1 м, не имевшего никаких признаков поражения. У этого зеленого пятна в часы отдыха охотно собирались рабочие, так как здесь «легче дышалось».

Известно, что фтористый водород, растворяясь в воде, дает плавиковую кислоту, которая легко соединяется с основаниями, например, с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образуя плохо растворимое соединение:



При частом непрерывном дождевании плавиковая кислота смывается водой и становится безопасной для растений, а вымываясь в почву, образует ряд труднорастворимых соединений.

В связи с этим в основу опыта было положено создание рас-

пылителей с выделением мелкокапельной водяной пыли и выращиванием под водной защитой декоративных растений. Кроме этого, был применен опыт американских исследователей Макнайти и Ньюмана, опрыскивавших растения 14%-ным раствором извести.

На Богословском алюминиевом заводе был избран самый тяжелый по загазованности участок между первым и вторым электролизными цехами. Из дерновой лесной почвы были сформированы три клумбы высотой 0,5 м по 1,5 м в диаметре каждая. Одна клумба была контрольной. На другой был установлен ширококонусный разбрызгиватель и на третьей растения обрызгивались 14%-ным раствором извести. На каждой клумбе с 19 по 22 июня были высажены по 10 растений астр, календулы, львиного зева, пиретрума, циннии, дельфиниума и космеи. В эти дни погода была пасмурной и все время моросил мелкий дождь. Поэтому рассада всех растений на всех клумбах хорошо укоренилась. С 24 июня был включен разбрызгиватель, а на другой клумбе растения были обрызганы раствором извести. Разбрызгиватель в солнечные дни включался на 10 минут 20 раз днем и на это же время через каждые два часа ночью.

Если вначале опыта дерновая почва имела pH 7,8, то 1 июля, через 11 дней после начала опыта, на контрольной клумбе pH равнялось 6,8, под разбрызгивателем — 7,0 и на клумбе с раствором извести — 7,5. Из этого следует, что под влиянием фтора почва быстро подкисляется.

Хуже всего чувствовали себя растения на контрольной клумбе — здесь большинство растений быстро сжигалось. Окраска листьев приобретала желтоватый оттенок, листья сморщивались, скручивались и засыхали. Особенно быстро пострадали львиный зев, дельфиниум, затем цинния. Все растения как бы остановились в росте, имели наименьшую площадь листьев и наибольшее количество поражений. К 20 августа здесь сохранилось несколько обожженных хилых экземпляров, которые затем погибли.

На клумбе с разбрызгивателем и на клумбе, где растения обрызгивались раствором извести, большинство растений сохранилось и цвело. 20 августа здесь хорошо цвели астры, пиретрум, календула. У календулы развиваются мелкие цветы, кончики лепестков скручиваются. Листья у циннии желтеют и цветов она не дает. Львиный зев хотя и цветет, но имеет следы повреждений, остальные растения к цветению не перешли.

При сравнении растений на опытных клумбах под водной защитой и покрытых раствором извести с аналогичными растениями и на клумбах у заводоуправления в условиях слабой загазованности оказалось, что высота растений на опытных клумбах была ниже на 35%, диаметр стеблей меньше на 41%, площадь листьев меньше почти на 50%.

Аналогичные опыты были проведены на таких же трех клумбах на территории криолитового завода. Здесь 17 июня на клумбы были высажены бархатцы, гвоздика и бессмертник. Все высаженные

растения на 6 августа сравнивались с аналогичными растениями вне зоны задымления в г. Полевском.

На контрольной клумбе все растения имели замедленный рост, наибольшее количество повреждений, наибольший отпад. Ни одно растение не перешло к цветению.

На клумбе под водяным душем тагетес имел 6% поврежденной листвы, достигал высоты 31 см, часть растений 29 июля расцвела. Листья гвоздики подверглись наибольшему повреждению — до 30%. К цветению не перешла. Бессмертник имел 15% поврежденной листвы, 30 июля зацвел.

На клумбе, где растения были опрыснуты раствором извести, опыт не удался, так как известь была смыта дождями и вновь не восстановлена. Поэтому к 6 августа растения имели такой же вид, что и в контроле.

При сравнении опытных растений, развивавшихся под водным душем на заводе, с растениями вне зоны задымления, у первых рост оказался в два раза меньше, поверхность листьев значительно меньше и начало цветения затянулось на 10—13 дней.

Между прочим, на территории завода на протяжении 10 лет дирекция завода и энтузиасты пытались создать озеленение из цветочных и иных растений. Для этой цели ежегодно привозили хорошую дерновую землю и создавали клумбы со слоем почвы до 1 м толщиной, за высаженными растениями осуществляли необходимый уход, но все опыты закончились неудачей. На этих клумбах высаживали астры, виолы, мак и др., затем овес, пшеницу, клевер, подсолнечник. Все эти растения давали всходы, вегетировали, а затем через 1—2 месяца погибали. Не выдержали испытаний лесные кустарники — смородина черная, шиповник, можжевельник, черемуха, рябина. В течение вегетационного периода все они погибали и на следующий год не возобновлялись. В последний год были созданы клумбы из крапивы. Она с большим количеством ожогов продержалась весь вегетационный период, но затем на следующий год все растения почернели и погибли.

Поэтому постановка опытов на территории завода была встречена с большим недоверием, но полученные в 1959 г. результаты были оценены очень высоко.

В 1960 г. на территории завода, там же, где проводились предыдущие опыты, были разбиты 6 клумб со слоем дерновой земли в 20 см, pH 7,2, на которых выращивались цветочные растения: бархатцы, кохия, ноготки, маргаритки, фиалка, бессмертник. Помимо этого были заложены 6 грядки, на которых высеяны злаковые и бобовые, а вдоль забора посажены 10 экземпляров тополей и 3 экземпляра рябины. Опыт проведен в 6 вариантах.

Посадка растений была произведена 6 июня. На каждую клумбу высажены по 5 растений каждого вида. В опыте были использованы более совершенные распылители, чем в 1959 г. (см. рис. 1).

Варианты опытов следующие: 1) постоянное водное орошение; 2) с удобрениями NH_4NO_3 ; 3) с удобрениями $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 4) опрыс-

кивание растений 14%-ным раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 4) контрольная посадка на почве из леса; 6) контрольная посадка на почве завода.

Подкормка удобрениями производилась через каждые 15 дней. Все клумбы, кроме первой, поливались каждый день вечером. Растения на 5 и 6 клумбе погибли через 10 дней. На первой и четвертой клумбе растения имели наименьшее количество ожогов. Больше всего пострадали бархатцы — на 30%, кохия — на 70%, бессмертник — на 25%. 6 августа зацвели бархатцы, с 19 июня — маргаритки, с 25 июня — ноготки, с 19 июня — виола. Бессмертники и кохия на 6 августа только вегетировали.

На удобренных второй и третьей клумбах повреждения наблюдались у всех растений. В частности: виолы 6 и 10% соответственно на второй и третьей клумбах, маргаритки 6—15%, ноготки — 15—30%, кохия — 25—37%, бархатцы 25—40%. К 6 августа все растения, кроме кохии и бессмертника, цвели. Лучшие результаты дало удобрение азотнокислым натрием.

Выращивание на грядах из дерновой почвы высотой 15 см с внесением удобрений (селитры) таких растений, как люцерна синегибридная, люпин многолетний, клевер луговой, пырей сизый и горчица, показали, что все растения на удобренных грядах выглядели выше, имели меньше повреждений, чем на неудобренных грядах. Особенно хорошие результаты дали люцерна синегибридная и горчица — сизая и сарептская.

Кроме того, были высажены 2—3-летние саженцы тополя бальзамического — 10 экземпляров и рябины — 3 экземпляра. Посадочные ямы имели в диаметре 1 м и глубину 80 см, засыпанные дерновой лесной почвой. Через 8 дней после посадки у тополей все листья пожелтели и отпали. Через 14 дней появились новые, которые через 10 дней снова погибли. На протяжении трех месяцев пять раз появлялись новые листья и тут же отпадали. На саженцах рябины листья пожелтели и отпали через 14 дней после посадки и вновь уже не появлялись. На следующий год все тополя и рябины погибли.

Таким образом, растения на улучшенной почве, но в условиях высокой загазованности, очень быстро погибают.

Проведенные опыты по выращиванию растений в условиях самой высокой загазованности на территории фторвыделяющих заводов под водным душем с внесением азотных удобрений показали осуществимость этого мероприятия. Все дело заключается в том, чтобы разработать наиболее совершенные распылители (пульверизаторы), которые создавали бы тончайший туман. Этим будет достигнуто несколько положительных мероприятий: 1) растения будут подвергаться наиболее полному смачиванию; 2) будет сокращен расход воды, что в ряде мест имеет немаловажное значение; 3) воздух будет насыщен большим количеством отрицательных ионов; 4) будет предотвращено подкисление почвы.

За рубежом (в США, Голландии и Англии), начиная с 1950—1956 гг., при выращивании многих декоративных и экономических

растений широко применяется аппаратура, создающая орошение типа тумана. По этому вопросу переведена с английского языка интересная работа Роу-Даттон (1962). Созданная за рубежом аппаратура позволяет получать почти атомизированные капельки воды, образующие постоянную пленку вокруг растения, что приводит к первоклассным результатам. Создание искусственного тумана на алюминиевых и иных фторвыделяющих заводах является совершенно необходимым мероприятием. Благодаря этому удастся создать озеленение на всей территории заводов и, кроме того, резко улучшить санитарную зону. В условиях фторвыделяющих заводов требуется периодическая прерывчатость в сухое время года с тем, чтобы локализовать действие фтора на растения с короткими промежутками между вспышкой тумана и его оседанием. При такой системе будет резко сокращен расход воды, а эффективность действия тумана будет наиболее выгодной. Применяемое орошение на Уральском алюминиевом заводе имеет сильную струю и создает крупные капли. Проводимое один или два раза в день по 10—15 минут оно совершенно не экономично и действия фтора не устраняет.

Роу-Даттон не рекомендует выращивать под туманом растения с плотной волосистой листвой и особенно с серебристыми листьями, так как длительное смачивание листьев разрушает структуру волосков, а это приводит к гибели растений. Очевидно поэтому выращивание бессмертников под водным душем на криолитовом заводе дало отрицательные результаты.

Метод выращивания растений в условиях высоких концентраций фтора под водным душем должен найти широкое применение, и наш опыт полностью подтверждает необходимость этого мероприятия. Как будет указано дальше, водный душ может быть применен и на предприятиях, где выделяются большие количества сернистого газа.

Сернистый газ относится к числу наиболее распространенных и агрессивных газов, особенно в районах действия тепловых электростанций и медеплавильных комбинатов. Его действие вызывает глубокие изменения в обмене веществ и расстройстве всех функций растительного организма. Проникая через устьица, он связывается мезофиллом листа, накапливается до известной степени, а затем при окислении сульфита в сульфат наступает токсическое действие последнего, что выражается в инактивации железа в хлоропластах, разрушении витамина B_1 и хлорофилла, наступлении плазмолиза пораженных клеток и последующей их гибели. Под действием сернистого газа изменяется коллоидальное состояние протоплазмы, увеличивается ее дисперсность и уменьшается гигроскопичность тканей. Благодаря последнему увеличивается кутикулярная транспирация и это неблагоприятно отзывается на водном балансе растений (Härtel O., 1954). Это ведет к понижению тургора, расстройству энзиматического аппарата, к нарушению обмена продуктов внутри клеток и проводящей системы

растений (Хёльте — Hölte W., 1958). Мейер Т. считает, что поражения сернистым газом являются локальными и не возникает системных поражений.

Микроскопически картина действия сернистого газа выражается в появлении светлых или темных ржаво-бурых пятен в клетках или тканевых комплексах. В первую очередь поражаются устьица и окружающие их клетки нижнего эпидермиса, затем пограничные слои губчатой паренхимы и палисадной ткани и, наконец, верхние слои палисадной ткани. Это приводит к плазмолизу и набуханию клеток, специфическому контурированию хлоропластов, а затем наступает высыхание, сморщивание пораженных клеток и их мумификация с окрашиванием в ржаво-бурые и темные цвета. Некротические пятна появляются от края листовой пластинки к ее середине. Поражение листовой поверхности сернистым газом тесно связано с работой устьичного аппарата и запасом углеводов в растении. Наибольшие поражения наблюдаются в утренние часы, когда раскрываются устьица и когда в растении имеются наименьшие запасы сахара. В послеполуденное время поражаемость уменьшается, благодаря увеличению количества углеводов в листьях. В ночное время восприимчивость растений к сернистому газу незначительна, так как за небольшим исключением (картофель, люцерна) у растений устьица закрываются, благодаря чему растения становятся более резистентными. Интересно отметить, что во влажную погоду, когда устьица закрываются, поражения растений сернистым газом резко снижаются.

В опытах по фумигации растений с различной дозировкой сернистого газа и продолжительностью окуливания установлено, что воздействие его вызывает снижение фотосинтеза. С прекращением окуливания все процессы постепенно на протяжении нескольких часов или дней восстанавливаются. Снижение ассимиляции может достигать значительных величин.

Одним из показателей порога чувствительности растений к сернистому газу является содержание серы в листьях (хвое). Сера в определенных количествах содержится у всех растений (в иглах хвойных до 0,1% и листьях широколиственных растений 0,15—0,30% к сухому остатку), входя в состав многих биологически активных соединений. При воздействии сернистого газа происходит накопление серы в виде сульфидов, переходящих затем в сульфаты. При накоплении серы до 2% наступает отмирание листовой пластинки и ее опадание.

Действие сернистого газа при поражении более 5% площади листьев приводит к снижению урожайности растений, к ухудшению их пищевой ценности, что в конечном итоге снижает вес животных, использующих эти растения. Снижение урожая сельскохозяйственных культур прямо пропорционально проценту пораженной листовой поверхности. О снижении урожая под влиянием сернистого газа указывают Меткаф, Деева (1956).

В Советском Союзе крупные работы по действию сернистого

газа на растения проведены Красинским Н. П. и его учениками с 1935 по 1950 г. Он обосновал биологическую, анато-морфологическую и физиологическую газоустойчивость растений. Биологическая газоустойчивость определяется регенерационной способностью растений. Анато-морфологическая — характеризуется защитной реакцией растений против проникновения вредных газов, что уменьшает повреждаемость их. Физиологическая — выражается меньшей окисляемостью клеточного содержимого и особенно воднонерастворимых веществ. Им установлен ассортимент газоустойчивых растений — 70 деревьев и кустарников и около 100 видов цветочных культур. При этом проведена попытка изучения газоустойчивости растений в систематическом разрезе. При изучении газоустойчивости растений главное значение он придает методу физиолого-биохимических показателей или физиологическому методу, называя остальные эмпирическими. Про метод полевых обследований он говорит, что этот метод наименее надежный и может использоваться как вспомогательный, так как на местности приходится иметь дело с крайним непостоянством концентрации газов, расстоянием от источника загрязнения, рельефом и микрорельефом, направлением и силой ветра, защищенностью постройками и т. д. Полевые обследования должны быть многократными, то есть проводиться на протяжении нескольких лет, для того чтобы получить достоверные результаты. В связи с этим им предложен ряд форм учета растительности и оценки повреждаемости.

Красинским Н. П. и его учениками Князевой Е. Н., Гермогеновой Н. С., Гусевой В. А. и другими (1950) выполнен ряд исследований по фумигации растений в камерах, по минеральному питанию растений в условиях задымления, по определению отравления почвы дымовыми отходами и составлен ассортимент дымоустойчивых растений. Эти интересные работы были крупным событием, обратившим внимание научной общественности к этому новому фактору воздействия на растения. С тех пор, как у нас, так и за рубежом, появилось много новых работ, которые затруднительно все охарактеризовать.

Наибольшее количество работ посвящено действию сернистого газа на лесные и декоративные растения.

Влияние задымления на состояние лесной растительности хорошо изучено на примере лесов Подмосквы Тимофеевым В. Н. (1956) и Кротовой Н. Г. (1957). Первый отмечает ослабленную жизненность хвойных лесов под влиянием задымления, что выражается в изреживании крон, замедленном приросте и суховершинности деревьев. Причина неполного охвоения крон, по его мнению, лежит в том, что хвоя на сосне вместо трех лет держится 1 год, а на ели вместо 7 лет — 2—3 года, а иногда 1 год. Кротова Н. Г. указывает, что если годичный прирост деревьев в 1920—1925 гг. в 40—45-летнем возрасте составлял $6,6 \text{ м}^3/\text{га}$, то, начиная с 1935 г., прирост снижается и в 1957 г. он составляет всего $3,7 \text{ м}^3/\text{га}$. В лесах, наиболее близких к Москве, здоровых деревьев оказалось

всего 16,4%, поврежденная хвоя на 1—1,5 см короче нормальной и ее приходится на 1 см побега больше. Содержание серы в хвое внутри массива 0,07—0,08 мг/м³, а около границы города 0,23—0,32 мг/м³. Связь между количеством серы в хвое ели и содержанием сернистого газа в атмосфере для лесов Подмоскovie отмечает Абрамашвилли Г. Г. (1957). Причиной такого состояния лесов Подмоскovie, по данным Кругликовой и Ефимовой (1958), являются высокие концентрации сернистого газа в промышленных районах г. Москвы, достигающих 2,2—2,7 мг/м³, в то время как физиологические функции растений начинают поражаться при содержании сернистого газа уже около 0,1 мг/м³.

По широкой программе изучение лесных растений на Урале начал проводить Николаевский В. С. (1933). Он изучил фотосинтез, дыхание, транспирацию, движение устьиц и др. вопросы на примере березы, тополя, осины и яблони в 200 м от источника загрязнения (Красноуральского медеплавильного комбината) и в 7 км в лесу, вне зоны задымления.

Интересны наблюдения Пельца (Pelz E., 1956, 1958) для ГДР. Он отмечает, что под влиянием вредных газов (SO₂, Cl, F, J, CO, HCN и H₂S) поражено свыше 8—10 тысяч га леса. При этом к особо вредным относятся первые четыре. Страдают больше всего деревья на тощих почвах и слабо освещенные. Молодые деревья повреждаются меньше, чем средние и старые. Он указывает, что в пределах одной породы есть более газоустойчивые и менее газоустойчивые формы. В связи с этим он рекомендует делать отбор наиболее устойчивых форм, произрастающих в условиях длительного задымления. Андре, Хартиг (Andre F., Hartig W., 1957, Австрия) в результате трехлетних исследований пришли к выводу, что сера накапливается в больших количествах в 5-летней хвое, чем в однолетней, выше в области верхушек кроны, чем в середине кроны. Делают вывод, что внутри леса деревья лучше защищены, чем на опушке. Примерно в этом же плане высказывается Матерна (Materna I., 1954).

Бибердорф, Шрусбери, Мак-ки, Краф (Bieberdorf F. W., Shrewsbury C. L., Mc Kee H. C., Krough L. H., 1958) изучали содержание серы в хвое (*Pinus taeda*) в штате Техас (США) и рекомендуют последнюю, из-за ее способности накапливать большие количества серы, не повреждаясь, в качестве индикатора загрязнения атмосферы. Дают сведения о содержании серы в хвое в зависимости от расстояния до источника загрязнения. Картину снижения прироста древесных пород в районе металлургических заводов описывает Гюде (Güde I., 1954). Вблизи завода в результате задымления сосны I бонитета дают прирост, свойственный IV—V бонитету. В 0,5 км от завода отмечается меньшее снижение прироста. Им использовался метод изучения прироста по ширине годовичных колец. В работах Ферда (Ferda L., 1953) и Хуфнагеля (Hufnagl H., 1957) приводится описание повреждений в зависимости от расположения леса по высоте от 200 до 700 м над уровнем моря и различного

расстояния от источника загрязнения. Интересен обзор работ Адамса (Adams D. F., 1956) по влиянию загрязнений на растительность и его наблюдения за 10 индикаторными растениями.

Во всех указанных работах, в особенности по лесным породам, авторы пытаются выделить наиболее и наименее газоустойчивые растения и в связи с этим предлагают ряд рекомендаций по замене одних древесных пород другими. Кроме того, даются рецепты по улучшению условий существования путем внесения в почву удобрений и других приемов.

Прежде всего большинство авторов указывает, что хвойные породы менее газоустойчивы, чем лиственные, что среди хвойных наименее газоустойчива ель. По наблюдениям Мейера (Meier H., 1956), у ели происходит набухание сердцевины, что ведет к медленному засыханию деревьев. О наибольшей поражаемости ели и пихты сообщают Ферда, Тенциг и Хуфнагель. Они пишут об исчезновении еловых лесов под влиянием задымления, хотя в то же время указывают, что еловые молодняки в этой же зоне вполне жизнеспособны, а процесс усыхания начинается в возрасте жердняка.

Из хвойных более стойкой породой является сосна и лиственница, особенно последняя. Из рода сосен к особо устойчивым относятся сосна черная (*Pinus nigra*), по наблюдениям Кондера (Conder E. M., 1957), Ферда (Ferda I., 1953). Сосна обыкновенная последним отнесена к среднегазоустойчивым. Он также отмечает значительно большую устойчивость веймутовой сосны по сравнению с обыкновенной сосной. Среди более газоустойчивых хвойных Кондер называет лиственницу японскую. Тимофеев В. И. сюда относит лиственницу Сукачева, европейскую и сибирскую, ель серебристую и голубую.

К газоустойчивым лиственным породам относятся, по данным многих авторов, такие породы, как: береза, ольха, тут, ильм, тополь, бук. Наиболее устойчивы черная ольха, рябина и сирень, среднеустойчивые: дуб, вяз и черемуха (Бенбен — Benben K., 1957), бук в молодом возрасте, клен-явор, клен остролистный, граб. Ферда к наиболее газоустойчивым относит тополь, дуб, иву, клен-явор и вяз. К этим породам Хуфнагель добавляет клен горный, липу, а Пельц — красный дуб и серую ольху. Приводится большой список деревьев и кустарников по их газоустойчивости Прокопиевым Е. К. (1959) при озеленении промышленных центров Болгарии. Из работ последнего времени представляют большой интерес исследования Хёльта, Мейера Т. и др.

Изучая деревья и кустарники в районе промышленных предприятий г. Днепропетровска, Гаевая З. И. (1962а) выявила ряд важных закономерностей в развитии растений под влиянием газовых выделений. Она отмечает постепенное нарастание повреждений растений на протяжении вегетационного периода, ускорение наступления фаз развития, в том числе цветения и плодоношения, осеннего расцветивания и листопада. Ряд растений дают слабый урожай семян, а другие цветут, но не плодоносят. В другой работе

(1962б) на основании пятилетних наблюдений ею приводится характеристика в отношении газоустойчивости деревьев и кустарников на промышленных площадках г. Днепропетровска. Ею выделяется 11 видов наиболее газоустойчивых, 3 вида среднеустойчивых, 10 видов средне- и слабоустойчивых и 12 — слабоустойчивых.

Здесь же проведены наблюдения над большим количеством цветочных растений Бабкиной В. М. (1959, 1962). Она отмечает глубокое влияние задымления на рост и развитие растений, на индивидуальность поражений внутри одного вида и разных видов, на нарастающий характер повреждений в связи с возрастом растений, погодными условиями, агротехникой возделывания и др. Ею отмечается необходимость посадки цветочных растений большими массивами, так как в этом случае они лучше противостоят влиянию газов. Приводится список в 125 видов и сортов, которые могут легко переносить задымление и полностью сохраняют свою декоративность, 134 вида и сорта менее газостойких, но быстро восстанавливающих поврежденные органы.

Особняком стоят работы Булгакова М. В. (1958, 1961) в г. Красноуральске, где под влиянием высоких концентраций дымо-газовых выделений медеплавильного комбината исчезла всякая древесная и кустарниковая растительность. На протяжении 20 лет проводились работы по посадке рекомендованных различными авторами самых газоустойчивых растений, но все эти растения в короткие сроки погибали. Пользуясь мичуринскими указаниями о том, что растения особенно восприимчивы к новым условиям среды в самом молодом возрасте, Булгаковым был заложен питомник в 1939 г., где воспитывались в условиях высокой загазованности однолетние саженцы. При этом было выяснено, что растения, выращиваемые в условиях высокой газовой концентрации, обладают и большей газоустойчивостью. Им же установлено, что местные березы из леса при перенесении их в городские посадки гибнут, в то время как развившиеся на отходах комбината березы при пересадке в город чувствуют себя хорошо. На основании работ Булгакова М. В. г. Красноуральск стал хорошо озелененным городом, в ассортимент включено 20 видов деревьев и кустарников.

Так же много работ имеется в отношении влияния сернистого газа на травянистые, в особенности на декоративные растения. Некоторые растения особенно отзывчивы к действию сернистого газа и накапливают его в большом количестве из воздуха, например, хлопчатник — до 30% (Олсен — Olsen R. A., 1957). К сернистому газу особенно чувствительны клевера, люпин, злаковые; из декоративных — примулы, гелиотроп, душистый горошек, настурция (Тонциг — Tonzig S., 1958). Он же отмечает исключительно высокую чувствительность некоторых грибов.

Кол (Cole G. A., 1958) в штате Тенесси (США) изучил действие сернистого газа на растениях-индикаторах в районе 7 тепловых электростанций. Изучались *Rubus* sp., *Ambrosia trifida*, *Helianthus* sp., *Geranium carolinianum* и *Quercus merilandica*. Кроме дан-

ных о повреждениях на указанных растениях, он отмечает угнетенное состояние всего растительного покрова и отсутствие ряда видов. О снижении урожая сельскохозяйственных культур пишет Фрейсберг (Freisberg E., 1957).

О повреждениях под влиянием тумана с сернистым газом, фтором и другими компонентами с осаждением химических примесей на листья растений в оранжереях Кью (Англия) говорит работа Меткафа. Это выразилось в опадении листьев и цветов, в потемнении и отмирании бутонов у орхидей, в ожогах листьев у цинерарий и примул, иногда полной гибели колеуса (*Coleus Blimei*).

О характере повреждений промышленными дымами без их характеристики имеется много работ. Так, Данн (Dann D. B., 1959) наблюдал следующие формы повреждения люпина: 1) скручивание листьев, 2) разрушение участков лиственной ткани, 3) последовательное разрушение лепестков, 4) задержка цветения, 5) повреждение вегетативных органов, 6) гибель растений. Им отмечается наибольшая чувствительность для тех растений, которые в ходе опыта получили высокую ночную температуру. Более устойчивыми к повреждениям оказались местные разновидности.

Нерасчлененное действие сернистого газа, совместного со фтором, рассматривалось в предыдущей главе, причем предполагалось, что причиной гибели и повреждений растений был фтор, так как в этом месте обнаруживались повышенные концентрации фтора, токсичность которого в 10—50 раз больше, чем у сернистого газа. В чистом виде действие сернистого газа прослеживается на состоянии растительности вблизи отдельно работающих тепловых электростанций без кооперации с каким-либо производством, а также на примере медеплавильных комбинатов, химических и иных заводов.

Действие сернистого газа, выделяемого тепловыми электростанциями, благодаря хорошей технике сжигания пылевидного угля и высоте труб до 110 м, носит ярко выраженный отрицательный характер преимущественно на древесных породах в пределах 2—3 км полосы. Это хорошо прослеживается на примере Нижне-Туринской, Егоршинской, Серовской и Краснокамской тепловых электростанций. На территории первых двух осуществлено озеленение, и все растения находятся в хорошем состоянии, несмотря на то, что у Егоршинской ГРЭС трубы невысокие. Но это справедливо только в отношении лиственных растений, хвойные же, и в первую очередь сосна, в непосредственном соседстве с электростанциями сильно страдают. Это можно подтвердить следующими примерами. В непосредственной близости около старейшего металлургического завода в г. Верхняя Тура на плотине растут тополя в возрасте около 180 лет. Будучи расположены на пути газовых выделений при очень низких трубах завода они почти не имеют каких-либо признаков повреждений. В то же время роща сосновых деревьев рядом с Нижне-Туринской ГРЭС при высоте труб в 110 м находится в плачевном состоянии: крона деревьев осветлена, хвоя

наполовину некротизирована, прирост отсутствует. В то же время рощица еловых деревьев в 300 м от электростанции, но расположенная с наветренной стороны, никаких следов поражений не имеет.

В 1 км от указанной электростанции с подветренной стороны отдельно стоящие сосны по широкому понижению около золоотвала и затем на железнодорожной станции ГРЭС находятся в таком же состоянии, что и около электростанции. В 2,0—2,5 км хвойный лес, преимущественно сосновый, находящийся в створе газового потока, являет пример парадоксальных нарушений, которые выражаются в том, что все дерево сосны испытывает явные признаки угнетения, но некоторые ветви, а иногда и вершины, обладают гигантским ростом и несут ярко-зеленую хвою. На одном и том же дереве были взяты парные ветви, одна угнетенная, а другая гигантская и произведены измерения количества хвои, длины хвои, годовой прирост. Эти данные по нескольким деревьям приведены в таблице (табл. 4).

Таблица 4

Измерения веток сосны в пороговой зоне действия

С какой части дерева взяты ветки	Возраст	Годовой прирост	К-во пар хвои	Из них поражено		Длина хвои, см
				ча- стич- но	полно- стью	
Наветренная сторона	1 год	2,7	17	12	12	6
	2 года	3,0	18	6	—	5
	3 »	2,5	14	10	—	5
	4 »	6,5	6	6	—	5
Подветренная сторона	1 год	8,0	28	6	—	6
	2 года	5,0	38	—	—	6
	3 »	17,0	102	—	—	5,5
	4 »	29,0	40	—	—	5,0

Аналогичное явление гигантизма роста на примере сосны, лиственницы и березы обнаружено между Серовской ГРЭС и г. Серовым в 2—3 км от первой, а также в окрестностях Шатурской ГРЭС — на примере сосны.

Это поразительное явление одновременного угнетения и усиленного роста на одном и том же растении может иметь два дополняющих друг друга объяснения. 1) При уменьшении концентрации сернистого газа до какой-то оптимальной величины его угнетающее действие сказывается только для части дерева, обращенной в сторону источника загрязнения, в то время как другая испытывает стимулирующее влияние, благодаря чему происходит усиленный рост отдельных ветвей и вершины дерева. 2) В пораженную сернистым газом часть дерева затруднен доступ пластических и иных веществ, в другую же нормально функционирующую корневой

системой всего дерева доставляется повышенное питание, что обеспечивает усиленное развитие только этой части дерева и повышает ее резистентность. За этой зоной парадоксальных явлений поражаемость растений сернистым газом резко снижается.

Попутно необходимо остановиться на широко распространенном мнении о том, что ель и пихта поражаются и гибнут в первую очередь, по сравнению с другими хвойными растениями. В действительности же часто бывает, что при поражении сосны сернистым газом рядом расположенные пихта и ель не имеют признаков повреждений. Из этого следует, что сосна более чутко реагирует на содержание в воздухе сернистого газа, но обладает широкой амплитудой выносливости. При усилении же концентрации сернистого газа все растения пихты, как взрослые экземпляры, так и молодняк избирательно гибнут в первую очередь на большом расстоянии. В этом случае хвоя приобретает оранжево-красный оттенок, опадает и деревья погибают. Подобный случай зарегистрирован в окрестностях гг. Углеуглярска и Губахи, Пермской области, на протяжении до 10—15 км от источников загрязнения. Загрязненный сернистым газом воздух предприятий этих городов направляется узким сгущенным потоком вдоль межгорных долин и поэтому его токсическое действие прослеживается на больших расстояниях. На ближайших подступах к источникам загрязнений отсутствует какая-либо древесная растительность, за исключением сильно поврежденных пятен молодых березок и сосенок. Затем появляется сильно поврежденный березовый лес, а за ним сосновый лес, со всеми признаками угнетения, и в последнюю очередь угнетенная ель с пихтовым сухостоем. Здесь отсутствует сибирская сосна, которая, очевидно, исчезла в первую очередь. Наиболее ярко выраженное действие сернистого газа проявляется в районе Средне-Уральского, Красноуральского и Кировградского металлургических комбинатов. Здесь в связи со спецификой производства атмосфера, кроме сернистого газа, загрязнена большим количеством других веществ, а именно: цинка, свинца, серы, меди, железа, мышьяка, хлористого водорода, окислов азота и др. Ежедневно выбрасывается в воздух около 20 тонн пыли и 500 тонн газообразных веществ. В связи с этим усиливается токсическое действие сернистого газа, и почва в ближайших окрестностях завода сильнее отравляется слоями тяжелых металлов, особенно свинцом, селеном и др.

Несмотря на высокие трубы, до 150 м, дымо-газовые загрязнения легко просачиваются через световые фонари рабочих помещений и поэтому на промплощадках в радиусе до 0,5 км создается очень высокая концентрация дымо-газовых выделений. Вследствие этого на заводской территории растительность, за очень редким исключением, отсутствует. В ближайших окрестностях в радиусе 2,0—3,0 км древесная растительность, как правило, отсутствует. С подветренной стороны на 15 км леса исчезли или находятся на грани вымирания. На территории заводов и на

2,0 км с подветренной стороны рН почвы не превышает 4,4—4,7. Компоненты дыма — тяжелые металлы в наибольших количествах выпадают на расстоянии — свинец и мышьяк 1—3 км, цинк 1—5 км, медь 1—4 км.

Все медеплавильные комбинаты расположены в горной и предгорной части Среднего Урала в лесной зоне. Осадков выпадает около 400 мм, среднегодовая температура колеблется от $-0,4$ до $+0,3^{\circ}$, господствующие ветры западного направления. У двух заводов населенные пункты расположены к западу от заводов и только в г. Красноуральске часть города находится под выделениями медеплавильного комбината. В связи с этим в дальнейшем будут рассмотрены вопросы озеленения заводских территорий, состояние естественной растительности в окрестностях заводов и озеленение г. Красноуральска.

На промышленных площадках указанных комбинатов создались крайне тяжелые условия для существования растений, благодаря интенсивному загрязнению воздуха и почв дымо-газовыми выделениями. На территории одного из комбинатов ежедневно на 1 м^2 в мг выпадает сернистых соединений (в пересчете на SO_2) до 186,0, свинца — 3,12, меди — 59,6, цинка — 10,4, мышьяка — 3,26—6,64.

Несмотря на это, принимаются энергичные попытки по озеленению заводских площадок. Для этой цели все посадки и цветочные растения выращиваются на привозной земле, которая периодически заменяется. Лучше всего озеленена территория Средне-Уральского медеплавильного комбината, хуже — Красноуральского. Ассортимент привлеченных для озеленения растений невелик, а именно: тополь бальзамический, ива трехтычинковая, липа, береза, клен ясенелистный, карагана. Трудность озеленения заключается также и в том, что очень много растений погибает и на их место нужно высаживать новые.

Трудность выращивания растений на заводах заключается в большой гибели растений в первый же год посадки (свыше 20%), затрудненном развитии и большой повреждаемости листьев. У тополей образуются искривленные стволы, небольшое количество листьев, значительная часть которых покрыта бурыми пятнами, имеет неправильную форму и размеры. Деревья тополя в условиях высокой загазованности подвержены раковым заболеваниям, у них трескается и отстает кора, что затем приводит к гибели деревьев. У кленов, наиболее выносливых в этих условиях, часть листьев желтеет, скручивается и опадает. Декоративность клена значительно лучше. Липа развивается крайне медленно и поэтому не используется в посадках, хотя ее листья поражаются не больше, чем у других пород. Береза сильно страдает, суховершинит, мало облиствена. Особенно большие повреждения листьев наблюдаются у караганы. Часто листья появляются только у основания или где-нибудь из середины ветки. Иногда они в несколько раз меньше нормальных. В большинстве случаев на

листьях обнаруживаются многочисленные следы ожогов. Иногда под влиянием сильных ожогов листья вообще погибают и осыпаются, а затем у части кустов восстанавливаются вновь. Небольшие кусты их выглядят хорошо и на листьях довольно редко отмечаются ожоги и повреждения.

Уход за растениями очень тщательный (полив, удобрение и др.), но и при этих условиях растения сильно повреждаются, особенно в безветренные дни и после дождя, когда сульфидная пыль образует концентрированные растворы серной кислоты, которая обжигает листья. Задымление сказывается на задержке весеннего развития растений. Так, в восточной части Средне-Уральского комбината из 126 деревьев 30 мая только 37 выбросили молодые листья. Также ведет себя карагана.

Ассортимент цветочных растений, применяемых для озеленения, не превышает 20 видов. Почти все они развиваются хорошо и цветут. Повреждения листьев наблюдаются у немногих растений: астры, львиного зева, бессмертников и ромашки. Особенно декоративна виола, у которой не обнаружено следов повреждения. Цветы выращиваются из семян собственной репродукции, причем их всхожесть выше, чем у семян, полученных в условиях г. Свердловска. Так, семена календулы, собранные на клумбах медеплавильного комбината, при проращивании их в лабораторных условиях, дали всхожесть 78—99%, а семена, собранные в Свердловске, — только 70%.

Состояние цветочных растений на высоких клумбах из привозной земли в августе 1959 г. можно было оценить (по 5-балльной системе) следующим образом: виола, календула, космея, львиный зев — 5, лобелия, ленок, бархатцы — 4—5, бессмертник — 4, душистый табак, поповник — 3—4, гвоздика — 2. Цветущие клумбы на общем фоне пустынной территории завода являются прекрасными островками жизни. Вместе с цветами на пластах дерна, оконтуривающего клумбы, пышно развиваются некоторые дикие растения, такие, как: тысячелистник, молочай (*Euphorbia virgata* W. K.), щучка, пырей и др.

Естественная растительность на промплощадках почти отсутствует. На Средне-Уральском заводе в газоне на привозном дерне из тимopheевки, овсяницы луговой и клевера хорошо развивается пастушья сумка, лапчатка гусиная, одуванчик, тысячелистник, манжетка и другие. Но у крапивы листья на 50% обожжены, а у мокрицы (*Stellaria media* Vill.) листья на 40% обесцвечены.

На протяжении двух лет на заводской почве с pH, равной 4,4, ставился опыт выращивания клевера лугового, тимopheевки луговой и ноготков (по 200 семян на площадку). При ежедневном поливе площадок ни одно семечко не взошло, а при проверке семян осенью в конце опыта найдено, что ни одно из семян даже не проросло.

На Красноуральском медеплавильном комбинате естественная растительность была обнаружена только небольшими пятнами

в понижениях и бороздках под крышами зданий, где сбегает дождевая вода. Так, в понижении у двери склада отмечены: горец птичий, подорожник средний, щучка, листья вейника, марь. Среди мелкого камня в понижении: ива до 10 см (4 экз.), аистник (*Erodium cicutarium* L. Herit), гречиха (*Polygonum lapatifolium* L.), овсюг, бескильница Гаупта. У деревянного тротуара (под его защитой) горец перечный (*Polygonum hydropiper* L.), марь, полевица. Вблизи водоразборной будки образовалось увлажненное пятно на рассыпанном торфе. Растения хорошо выглядят и многочисленны. Встречены: кипрей (*Epilobium palustre* L.), ивы (много кустиков до 40 см), мятлик однолетний, сушеница (*Gnaphalium uliginosum* L.), ситник (*Juncus buffonius* L.), горец узловатый (*Polygonum nodosum* Pers.), осока (*Carex vulpina* L.), лебеда татарская, бескильница, ромашка непахучая (*Matricaria inodora* L.) лапчатка гусиная.

Вдоль стен зданий по бороздам встречены низкорослые: горец птичий, марь белая, кипрей, молочай, тысячелистник, бескильница, мать-и-мачеха, мокрица, льнянка, щучка, ива.

Развитие растений в увлажненных местах на территории медеплавильных комбинатов говорит о возможности выращивания здесь растений под защитой искусственного тумана и при условии удобрения почвы.

Проблема озеленения в условиях высоких концентраций сернистого газа успешно решается также мичуринскими методами, которые были применены М. В. Булгаковым в г. Красноуральске. Первый опыт, который был им проведен, заключался в том, что в 1948 г. были заложены опытные площадки в задымленной зоне в 20—500 м от завода, где были высажены 7 древесных и 11 кустарниковых пород, по 30 экземпляров каждой. Посадочный материал был взят из леса и питомников. Ежегодно проводились измерения годичного прироста и наблюдения за состоянием растений. В 1955 г. были подведены итоги опыта, которые отображены в табл. 5.

Газоустойчивость растений

Таблица 5

Название растений	Сохранилось	% гибели	Прирост
Яблоня культурная	30	0	Нормальный
Осина	28	7	Ниже нормы на 12—15%
Клен остролистный	27	10	» » » 12—15%
Ясень маньчжурский	25	17	» » » 15—18%
Тополь бальзамический	22	27	» » » 18—22%
Липа мелколистная	6	80	» » » 70%
Береза пушистая	1	97	» » » 95%

Из кустарников наиболее газоустойчивыми оказались: боярышник сибирский, кизильник блестящий, черемуха обыкновенная

и виргинская, черная смородина, сирень мохнатая и жимолость татарская.

На основании полученных результатов началось озеленение г. Красноуральска. При этом еще раз выяснились преимущества местного материала над привозным. При закладке городского парка осенью была использована карагана из местного питомника и из г. Нижнего Тагила. Весной 1954 г. листья на карагане из г. Нижнего Тагила после получения ожогов пожелтели и опали, в то время как местная карагана имела нормальный вид.

В последующем М. В. Булгаков обнаружил в непосредственной близости к заводу на отравленном сточными водами субстрате березу низкую (*Betula humilis* Schrank), которая после включения ее в городские посадки дала прекрасные результаты. В результате спартанского воспитания при выращивании на питомнике вблизи от завода в условиях высокой загазованности удалось значительно расширить ассортимент растений, используемых для озеленения г. Красноуральска, в той его части, где оно раньше отсутствовало. Сейчас для этой цели, кроме упомянутых, используются: груша, вишня, вяз, черемуха, а из кустарников: карагана, барбарис, дёрен, ирга, роза ругоза, смородина альпийская, шиповник коричный и другие. За последнее время проводится работа по воспитанию хвойных, таких, как: сосна, ель, лиственница и сибирская сосна. Опыт Булгакова М. В. начинает применяться в ряде городов, в частности в г. Кировграде.

В то же время как в г. Красноуральске, так и в г. Кировграде от задымления сильно страдают овощные и плодовые растения на огородах и в садах местных жителей. Как правило, листья всех растений обжигаются, особенно у картофеля. Растения низкорослы, дают пониженный урожай. Только в 8 км к востоку от г. Кировграда огородные растения имеют нормальный вид и жители не жалуются на отрицательное действие выделений медеплавильного комбината. К востоку от Средне-Уральского медеплавильного комбината на расстоянии до 2 км в прошлом были огороды, а сейчас это мертвая зона. Почвы имеют pH 4,7.

Естественная растительность вокруг медеплавильных комбинатов точно так же находится в угнетенном состоянии, особенно деревья и кустарники, причем во все стороны, а не только с подветренной стороны. Так, 16 августа 1961 г. после небольшого дождя при слабом юго-восточном ветре в 5—7 км от г. Кировграда на северо-запад сильно пострадал смешанный лес. У всех хвойных (сосны обыкновенной и сибирской, ели, пихты) хвоя пожелтела и частично осыпалась. У березы большая часть листьев пожелтела и побурела.

Как правило, в радиусе 0,5 км вокруг медеплавильных комбинатов естественная растительность, за редким исключением, отсутствует. Затем в зоне 1,5—2,0 км встречается только разреженный растительный покров. И только с 2,0 км (не на главном направлении ветра) появляются древесные и кустарниковые растения, со

следами сильных поражений. Ниже приводится характеристика растительного покрова в окрестностях Средне-Уральского медеплавильного комбината.

В ближайших окрестностях на восток от завода при рН почвы 4,7 растительность отсутствует, за исключением отдельных понижений, где встречаются: пырей ползучий, марь белая, горец птичий, осок, тимopheевка, изредка береза низкая, и только в 2 км начинается редкий низкий березняк с шиповником (*Rosa cinnamomea* L.) при почти полном отсутствии травянистой растительности.

В юго-восточном направлении в 0,5—1,5 км до 1943—1945 гг. возделывали картофель, но затем урожаи резко снизились и возделывание картофеля было прекращено. По канавкам и впадинам здесь изредка встречаются: пырей, тысячелистник, льнянка, мятлик, раковые шейки (*Polygonum bistorta* L.), лапчатка, кровохлебка, клевер луговой, мать-и-мачеха и крапива. У последних трёх имеются ожоги на листьях.

В 1 км на юг по склонам реки Чусовой был когда-то хвойный лес, но сейчас на его месте молодняк (до 0,5 м высотой) из сосны, березы, осины и черемухи. Много кустиков брусники, ракитник. Растительный покров изреженный (покрытие от 10 до 30%). Встречены следующие растения: тысячелистник, золотая розга, лапчатка прямостоячая, земляника, подмаренник северный, майник, клевер горный, кровохлебка, купальница (*Trollius europeus* L.), звездчатка, астрагал датский (*Astragalus danicus* Retr.), одуванчик, овсяница красная, фиалка собачья, раковые шейки, манжетка, вейник, горошек лесной (*Vicia silvaticum* L.).

На расстоянии до 0,5 км на юго-запад в рабочем поселке имеется несколько гибнущих взрослых берез с осветленной кроной, а из травянистой растительности отмечены одуванчик, горец птичий и крапива, причем у всех растений листья повреждены. У горца птичьего листья наполовину обесцвечены.

В этом же направлении в 1 км за железнодорожной насыпью встречен пышный островок растительности с низкорослым, до 1—1,5 м лесом, в котором у сосны половина хвои бурая, у ели только в нижней части вся хвоя зеленая. Из травянистых растений (25 видов) сильные ожоги имеют мать-и-мачеха и кровохлебка. Особенно пышно разрослась щучка.

На северо-запад от завода в его ближайших окрестностях, в понижении, где сбрасываются сточные воды и по берегу пруда, на совершенно отравленной площадке в 1 га с рН 4,0 встречены одиноко стоящие экземпляры чемерицы и еще более редко, одиночно или узкими полосками щучка, пырей, одуванчик, хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), осока, вейник, раковые шейки, ива. По берегу пруда со сточными водами крупные, красиво цветущие кусты шиповника коричневого и хорошо развитая поросль березы низкой. Далее по берегу этого пруда полосой до 100 м почти безжизненное пространство с очень редкими растениями. Из новых растений встречены скрипун, малина, хвощ полевой, княжик

(*Atragene sibirica* L.), крапива. Имеется поросль ели и смородины (до 15 см высотой). Верхушки березок сухие, у остальных растений сильные ожоги листьев.

К северу до 0,5 км идет безжизненное пространство, где в одной небольшой впадине под прикрытием насыпи с южной стороны уцелело единственное дерево ели с сильно пораженной хвоей и даже голыми ветвями. Встречены кустики ивы, березы и ракитника. Из травянистой растительности зарегистрировано 19 видов с лютиком, подмаренником (*Galium aparine* L.), чиной (*Lathyrus pratensis* L.), марью, манжеткой и др.

Растительность к северу и северо-востоку появляется на расстоянии 1 км. От бывшего здесь леса остались одни пни. Из травянистой растительности отмечены осока (*Carex superoides* L.), кукушкин цвет, гравилат (*Geum urbanum* L.), майник, мятлик, малина, звездчатка, купальница, чемерица, вика (*Vicia sepium* L.).

За этой полосой начинается сильно поврежденный березовый лес, который в 3 км переходит в смешанный лес с елью, пихтой, березой, липой и ивой. Из травянистых растений (21 вид) преобладают чемерица и щучка.

В восточном направлении в 3—5 км и далее — гибнущий хвойный лес из сосны и ели. У сосны редкая бурая и желтая хвоя. У ели в верхней части все ветви сухие. Много мертвых деревьев. Пихта вся погибла. Травянистая растительность редкая, из немногих видов, а именно: тысячелистника, пырея ползучего, хвоща болотного, лапчатки гусиной и некоторых других. Полоса поврежденного леса тянется очень далеко, вплоть до г. Первоуральска, отстоящего на 15 км от источника загрязнения.

Аналогичная картина зарегистрирована и в окрестностях г. Кировграда. С подветренной стороны леса отступили на 15 км. К северо-западу в 2,5 км от источника загрязнения расположен сильно поврежденный березняк до 1,5 м высотой, изредка встречается черемуха до 40 см, ракитник, брусника, можжевельник с побуревшей хвоей, елочки с желто-зеленой хвоей. В травянистом покрове тысячелистник, горец птичий и другие.

В окрестностях г. Кировграда в северо-западном направлении от завода в 5 и 15 км было взято для сравнения по 1 ветви 3-летнего возраста у 10 деревьев одного возраста. Это было сделано для того, чтобы уяснить степень влияния завода на растительность с наветренной стороны. В 5 км от завода цвет хвои желто-зеленый. Верхушки хвои на 1/4 и 1/3 некротизированы. В 15 км хвоя следов повреждений не имеет. Результаты подсчета количества хвои, измерений ее длины, величины годичного прироста и др. изложены в табл. 6.

Из таблицы видно, что выделения медеплавильного комбината угнетающе действуют на древесные растения даже с наветренной стороны, что особенно хорошо прослеживается на сосне обыкновенной, которая может быть использована как индикатор степени загрязнения воздуха.

Таблица 6

Показатели	Возраст по годам	В 5 км	В 15 км	Отклонения
Годовой прирост (см)	1	16,8	28,0	11,2
	2	15,6	22,5	6,9
	3	16,5	20,1	3,6
Число хвоинок (штук)	1	1126	2711	1584
	2	948	1682	734
	3	676	841	165
Длина хвои (см)	1	3,6	5,4	1,8
	2	3,3	5,3	2,0
	3	3,8	5,3	1,5

В окрестностях Средне-Уральского медеплавильного завода в смешанном лесу на уцелевших трех деревьях пихты на высоте 1 м в сторону источника загрязнения был произведен подсчет количества хвои за 4 года на трех ветках. Значительная часть хвои имела желто-оранжевый оттенок, другая — темно-зеленый. Первую обозначаем как пораженную, а другую нормальной. Количество той и другой по годам сведено в табл. 7.

Таблица 7

**Пораженность хвои у пихты в окрестностях
Средне-Уральского медеплавильного комбината (количество хвоинок)**

	Возраст в годах	1-я ветвь	2-я ветвь	3-я ветвь	Среднее
Пораженная хвоя	1	—	0	0	0
	2	15	14	42	24
	3	9	22	15	15
	4	20	7	26	18
Нормальная хвоя	1	45	50	52	49
	2	34	22	29	28
	3	5	10	23	13
	4	16	20	3	13

Из таблицы видно, что, начиная со второго года, происходит интенсивное поражение хвои пихты, а с третьего года — ее опадание. Хвоя пятого года полностью погибла и отпала.

Разрушительное действие сернистого газа на растительность удалось проследить вокруг коксохимического комбината в г. Губахе. Завод и старый город расположены в межгорной котловине по берегу р. Косьвы. Газовый поток загрязненного воздуха в основном распространяется по долине р. Косьвы на юг или север. В связи с тем, что в районе завода создались тяжелые условия для населения, за счет государства выстроен новый город в 3 км, вне зоны задымления.

Ранее г. Губаху со всех сторон окружал елово-пихтовый лес с сибирской и обыкновенной сосной, сейчас на 15 км по основному потоку газов к югу и северу отмечена гибель пихты и сибирской сосны. На подступах к Губахе в 5—6 км исчезают ель и сосна и затем на протяжении 1 км идет сильно пораженный березовый лес. На окраине леса встречаются небольшие пятна из молодых березок, сосенок и елочек.

По вершинам гор и увалам на восток, в 4—5 км от завода расположен мертвый лес, в котором дольше всех сохраняется береза. Далее ближе к заводу идут только мертвые пни, около которых видны кустики березы, черемухи, ивы. Склоны гор сырые.

В 3 км к востоку от завода по южному склону горы описана растительность над новым городом на высоте 120—150 м. В растительном покрове с покрытием 80—100% основными компонентами являются полевица белая и щучка. Кроме этого, зарегистрированы хвощ лесной (*Equisetum silvaticum* L.), черника, куль-баба, мелко-лепестник, сушеница, вейник, майник, щавель воробьиный, герань лесная, фиалка изумительная (*Viola paradoxa* L.), ситник, ожика, земляника, золотая розга, василистник, подорожник, клевер, осока лисья (*Carex vulpina* L.), кошачья лапка (*Antennaria dioica* L.) и др. Около пней изредка кусты березы, черемухи, ивы с высотой до 40 см.

Поражены многие растения. В частности, у малины листья белесые с мелкими отверстиями по мякоти и между жилками листа, иногда с бурой некротической каемкой. Щитовник Линнея (*Dryopteris Linnaeana* C. Christens.) имеет концы старых листьев бурые. У березы все старые листья поражены и имеют бурый цвет, а у черемухи — продырявлены. Черника вся с темно-фиолетовыми листьями. У многих экземпляров иван-чая листья бурые и закручены. У майника — верхняя треть листьев и более — буро-желтая. У герани часть листьев ярко-красная. Василистник на $\frac{3}{4}$ имеет бурые листья. Остальные растения поражений не имеют.

По тому же склону, но ближе к источнику загрязнения на 1—1,5 км растительный покров резко обедняется. Исчезают все кустарники: береза, черемуха и ива. У полевицы листья на $\frac{1}{3}$ бурые, у щитовника старые листья почти полностью бурые. Остаются в растительном покрове щучка, сушеница, куль-баба, осока, ожика, с листьями на $\frac{1}{3}$ белесо-бурыми, иван-чай наполовину пораженный. Добавляются новые растения — мятлик и овсяница овечья, ясколка, манжетка. Остальные виды, несмотря на идентичность условий, выпали из растительного покрова.

На юг от завода в 1 км по каменистому сухому склону к р. Косью изреженный растительный покров, в котором от основания до 70 м высоты встречены следующие растения: горец птичий, марь белая, овсяница красная, щучка, иван-чай, одуванчик, тысячелистник, лебеда татарская, полевица, пырей, чернوبильник (*Artemisia vulgaris* L.).

На высоте 70 м густой растительный покров с покрытием 80—

100% из мятлика, овсяницы красной и полевицы. К ним добавляются пырей, тысячелистник, кульбаба, горец птичий, щавель воробьиный. У пырея листья наполовину бурые и красные.

Отсюда и выше до 150 м над берегом р. Косьвы начинается зона интенсивного задымления. Пологий склон и вершина влажные. Почвы нет. Часто обгорелые пни. Растительность крайне редкими островками из горца птичьего, клевера ползучего и лугового, щавеля воробьиного, иван-чая (сильно поражены листья), овсяницы красной, осочки (*Carex rupestris* Bell., *C. obtusata* Liljebl.), тысячелистника, мари белой, кульбабы, хориспоры, пырея. Описаны 6 оставшихся пятен. Существование этих пятен обязано осочкам, которые создают крепкий дерн и благодаря этому под ними сохранилась почва.

Сернистый газ точно так же, как и фтор, губительно действует на растительность, но в более широком диапазоне — как на надземную, так и путем подкисления почвы на подземную часть. Благодаря этому растительность обедняется не только за счет сернистого газа воздуха, но и за счет перехода почв в разряд кислых и очень кислых, на которых многие растения существовать не могут. Исключительно в силу последнего обстоятельства на территории самих медеплавильных заводов и в ближайших окрестностях растительность почти отсутствует, в то время как на фторвыделяющих заводах такой картины не наблюдается. Если составить статистический ряд по количеству встречающихся видов не в укрытиях, а в более или менее равнинных условиях, то он отразит следующее состояние растительного покрова.

Таблица 8

Количество видов на разных расстояниях от источника загрязнения
(Средне-Уральский медеплавильный комбинат)

Группы растений	Наветренная сторона		Источник загрязнения	1,0 км	2 км	3 км
	1 км	0,5 км				
Деревья хвойные	0	0	0	0	0	1*
» лиственные	1*	0	0	0	1*	3*
Кустарники	2	0	0	0	1*	3*
Травянистые		7	0	1—2*	5*	15*

* Растения в различной степени поражены.

Из этой таблицы видно, что деградация растительного покрова под влиянием сернистого газа значительно больше, чем под влиянием фтора. При этом в ряде мест встречены однокомпонентные ценозы или из очень небольшого количества участников.

К продуцентам сернистого газа на Урале относятся многочисленные металлургические заводы, но характер повреждений расти-

тельности здесь значительно меньше. Так, на Северском, Нижне-Тагильском и Серовском металлургических заводах озеленены промышленные площадки и все растения находятся в хорошем состоянии. В окрестностях этих и Алапаевского заводов наблюдающиеся повреждения носят более ограниченный характер. Здесь, кроме выделений сернистого газа, большое отрицательное значение играет пыль этих предприятий, в особенности при кислородном дутье. Благодаря этому, листья растений покрываются толстым слоем пыли, что значительно ослабляет фотосинтетическую деятельность листьев.

Фенол. О действии фенола на растительность в литературе сведений очень мало. Нами его влияние было изучено вблизи газогенераторных станций (ГГС) на Уралмашзаводе, Первоуральском Новотрубном, Челябинском тракторном и иных заводах, а особенно на заводе пластмасс.

На Новотрубном заводе вдоль коридора между цехами примерно на 200 метров от ГГС имеются два ряда тополей. Один ряд проходит вдоль дороги в понижении, а другой ряд на возвышении в 1—1,5 м вдоль стен цехов. Все тополя вдоль дороги с обеих сторон несут явные следы поражения от действия фенола. Самые ближайшие в 30—40 м от ГГС посадки тополей мертвы. Далее идут деревья, у которых функционируют только нижние приземные ветви, с пораженными листьями. Остальные $\frac{3}{4}$ деревьев стоят голые и сухие. Постепенно, по мере удаления от ГГС, зеленая часть растения становится все выше и выше, а на листьях повреждений становится все меньше и меньше. Примерно в 200 м от ГГС все тополя принимают нормальный вид и следы поражений на листьях исчезают. У всех тополей на стволах той их части, которая обращена в сторону ГГС, имеется темный, а у ближайших деревьев — черный маслянистый налет.

Другой ряд тополей, расположенных на 1—1,5 м выше и идущих параллельно дороге, никаких повреждений, за небольшим исключением, не имеет.

На заводе пластмасс у цеха по выработке лаков, копала и масла, растворимых смол действие фенола было изучено более детально. Около этого цеха и заводоуправления в 1945 году был разбит сквер, на котором высажены тополь, яблоня, карагана, сирень обыкновенная и персидская, жимолость, роза морщинистая, клен татарский и боярышник.

Действие фенола у разных видов отражается по-разному и поэтому ниже рассматривается состояние растений по каждому виду в отдельности.

У тополей в 15 м от цеха листья поражены на 100%, из них 50% с черными пятнами. Крупных листьев почти нет. Все они имеют неправильную форму, разорваны. Ветки в сторону цеха немногочисленны, короткие, почти голые. Основная масса ветвей расположена на противоположной от цеха стороне. По стволу много трещин и опухолей. На расстоянии 30 м поражения листьев про-

должают оставаться значительными, но крона принимает более правильную форму и листья становятся немного крупнее. В 75 м от цеха повреждения имеются только на листьях, обращенных в сторону цеха, а на обратной стороне они имеют нормальную форму и размеры.

Действие фенола сказывается и на годичном росте тополей. В 1945 г. были высажены одновозрастные тополя как на заводе, так и в 12 км от него в уличных посадках. Диаметр тополей у цеха в 15—25 м от него на высоте 1,3 м был равен в среднем 17 см. На расстоянии 75 м — 26 см, а в 12 км — 35 см.

По-иному сказывается действие фенола на яблоне. В 20 м от цеха у яблони имеются многочисленные мелкие однобокие листья с большим числом мелких отверстий. В 75 м от цеха деревья яблони выглядят нормально и следы повреждений на листьях отсутствуют.

Были произведены измерения веса и площади сухих листьев (по 100 штук) на различных расстояниях у тополя и яблони. Результаты этих измерений хорошо иллюстрируют характер угнетения фенолом этих двух видов древесных растений.

Таблица 9

Действие фенола на вес и площадь листьев тополя и яблони на заводе пластмасс

Расстояние от цеха, м	Тополь		Яблоня	
	вес листа, г	площадь листа, см ²	вес листа, г	площадь листа, см ²
15	0,1045	12,85	—	—
20	0,1310	16,10	0,0578	7,1
25	0,1287	15,81	0,1396	17,16
30	0,2050	25,20	0,1981	24,36
50	0,7453	91,65	0,3978	48,91
75	1,0190	125,3	—	—
12000	1,1055	135,94	—	—

На ближайших расстояниях площадь и вес листа в 10 раз меньше нормальных. У тополя пораженность листьев хорошо прослеживается до 50 м, в то время как у яблони до 30 м.

При изучении срезов ствола тополя и яблони, а также двулетних и однолетних веток выяснилось, что у тополя вся сердцевина и сердцевинные лучи, а также подкорковая часть окрашены в ржаво-бурый, а местами лиловый цвет. У яблони таких поражений нет, но изредка в сердцевинной части встречаются группы окрашенных клеток. Годичные слои у тополя на стороне, обращенной к цеху, более тонкие. У яблони таких различий не отмечено.

Большинство кустарников имеют хорошо выраженные следы повреждений. Так, у сирени обыкновенной в 50—75 м от цеха большинство листьев уродливые, с отверстиями, с изъязвленными

краями, с некротическими черными пятнами. У боярышника в 25 м от цеха края листьев имеют темно-коричневую окраску, неправильную форму. В 150 м кусты боярышника имеют нормальный вид. У жимолости в 75 м от цеха верхушка большинства листьев имеет коричневую окраску. Исключением является роза морщинистая и сирень персидская, которые почти не страдают от фенола. В 20 м от цеха роза морщинистая дает плотные обильно цветущие кусты с редкими черными пятнами на листьях. Сирень персидская в 40 м точно так же нормально развивается и не имеет поражений.

Травянистая растительность фенолом угнетается значительно больше, чем деревья и кустарники. Цветочные растения на клумбах, несмотря на хороший уход, имеют карликовый рост до 10—15 см, небольшую листовую поверхность и выбрасывают мелкие, против обычных, цветы.

Естественная растительность почти отсутствует на расстоянии до 50—75 м от цеха. У подорожника среднего листья мелкие и односторонние. Марь белая, высотой в 5—7 см, имела настолько мелкие листья, что ее было трудно опознать. Кое-где виднелись мелкие листья злаков, видовую принадлежность которых установить не удалось.

Под действием фенола на Уралмаше находится сосновая роща. Передовые сосны постепенно погибали, а после вырубki их такая же судьба ожидала следующий ряд. К настоящему времени большая часть сосен погибла, но березы в этой роще почти не затронуты повреждениями и выглядят вполне нормально.

Отрицательное действие фенола на растительность при высоких дозах концентрации сказывается на лиственных растениях на расстоянии до 200 м, а на хвойных до 500 м.

Ацетилен и этилен. Действие этих газов прослежено на заводе пластмасс.

У цеха, выделяющего ацетилен, на листьях цветочных и древесных растений появляются ярко-желтые пятна. Причем желтизна прослеживается по главной и боковым жилкам листа. У тополя листья в желтых пятнах только на стороне, обращенной к цеху, а с обратной — имеют нормальный вид и размеры. У клена все листья зеленые, но имеют массу мелких отверстий. Подавляющего действия на рост и развитие растений ацетилен не оказывает.

У другого цеха, выделяющего этилен, все цветочные растения имеют карликовый рост и к середине июля засыхают. Естественная растительность точно так же низкоросла и трудно определима. Например, марь белая почти лишена листьев. Единственным растением, имеющим нормальный вид, была бескильница Гаунта.

У старого тополя, расположенного в конце здания цеха, на пути газового потока листья имеются только на самой вершине, на нижних ветвях и по стволу. Вся средняя часть тополя безлиственна. Никаких признаков поражения листьев не обнаружено.

В целом оба эти загрязнителя воздуха действуют отрицательно на растения на небольших площадях.

У азотнотукового и калийных комбинатов в г. Березники и г. Соликамске, выделяющих сложную смесь газов, все высаженные деревья погибли. Так, в Соликамске в сквере у заводоуправления около 50 тополей стоят мертвыми, в таком же состоянии находится и карагана. У азотнотукового комбината точно так же все высаженные тополя погибли.

В закрытом от посещений сквере у калийного комбината в травянистом покрове основу образует марь белая и пырей ползучий.

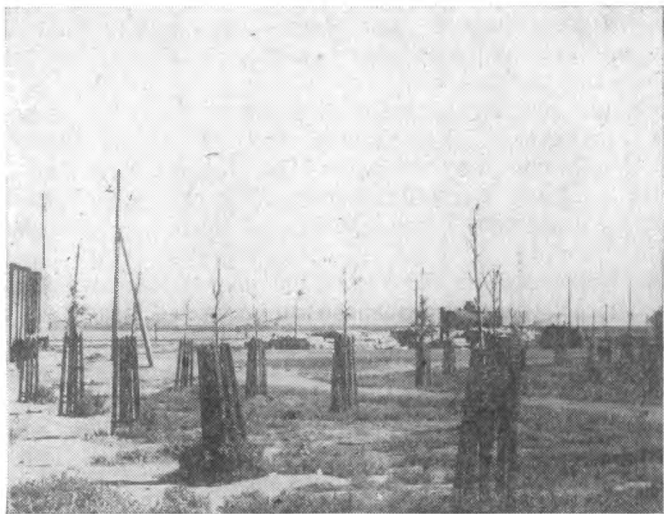


Рис. 3. Гибель тополей в районе азотнотукового комбината в г. Березники.

Кроме того, довольно часто встречается ромашка непахучая (*Matricaria inodora* L.) и изредка марь красная (*Chenopodium rubrum* L.), горец (*Polygonum nodosum* L.), клевер ползучий, крапива, овсяница луговая, мокрица, осот, подорожник средний, клоповник (*Lopidium guderale* L.), мятлик, спорыш.

На заводе у основания калийного террикона пятна растительности из бескильницы Гаупта, лебеды татарской, осота, пырея и гречишки птичьей.

У проходной на клумбе марь многолистная (*Chenopodium foliosum* (Moench) Aschers.). Изредка на заводской территории встречаются кустики бескильницы.

В районе хромпикового завода, загрязняющего воздух пылью хромита, соединениями 6-валентного хромамонохромата и хлористого хрома, растительность угнетена только в ближайших

окрестностях к заводу — в радиусе до 300 м. У тополей замедленный рост, развиваются в небольшом количестве мелкие, в 3—4 раза меньше нормальных, листья, почему кроны их необычно освещены. Осенний листопад на этих деревьях начинается на 2—3 недели раньше против нормального.

В г. Березники под влиянием загрязнений многочисленных химических заводов в центре города в парке все ели и сосна погибли или же находятся на грани гибели. По всему городу видны следы ожогов на тополях, сирени, жимолости и других растениях.

В радиусе до 1 км вокруг титаномагниевого завода, выделяющего хлор и хлористый водород, отмечена массовая гибель овощных культур и комнатных растений.

Заключение

Действие дымо-газовых выделений наблюдается на обширных территориях и проявляется самым различным образом. Лучшим индикатором, отражающим это влияние, будет растительность, которая, по Б. А. Келлеру, является чутким реагентом на изменившиеся условия среды.

Дымо-газовые выделения отрицательно действуют на организмы, что выражается, на примере растительности, в появлении различного рода повреждений, расстройстве функциональной деятельности и нарушении обмена веществ; в ухудшении пищевых достоинств растений, снижении урожая, уменьшении годового прироста, в дигрессивных изменениях фитоценозов в связи с выпадением негазоустойчивых компонентов, в образовании индустриальных (дымовых) пустынь.

Среди промышленных дымо-газовых выделений особой агрессивностью отличаются фтор и его соединения, сернистый газ и его соединения и запыление специфического состава. Все остальные загрязнения представляют меньшую опасность.

Лучшим средством регенерации загрязненного воздуха в промышленных районах страны и на Урале в частности является растительность, поглощающая от 40 до 70% загрязнений, путем осаждения твердых частиц листовой поверхностью и поглощения газовых компонентов в процессе транспирации. Воздух под влиянием растительности не только очищается, но обогащается кислородом и фитонцидами. Создание озеленения на заводах и в задымляемых населенных пунктах возможно путем подбора дымо-газоустойчивых ассортиментов растений, повышенного ухода за ними путем улучшения агротехники, выращивания их в условиях искусственного тумана, а также различного рода устройств по защите растений.

На примере работ Булгакова М. В. в г. Красноуральске показана возможность выработки свойств газоустойчивости путем мичуринских методов воспитания растений в неблагоприятных условиях, в смысле загрязнения атмосферы. Этот эффект достигает

ся путем широкого использования местного материала, особенно из числа растений, произрастающих в особо неблагоприятных условиях, таких, например, как береза низкая, роза коричная, бескильница Гаупта и др.

Изучение растительности в районе промышленных предприятий показало различную степень устойчивости к дымо-газовым выделениям представителей древесной и травянистой формы, как в культурных посадках, так и естественных условиях. Эта особенность растений определяется не только систематическим, но в большей части экологическим происхождением, а в отношении культурных растений также амплитудой наследственности и времени происхождения. Так, из естественной растительности нетребовательны к тяжелым условиям ивовые, тополевые, березовые, маревые, гречишные и многие другие. В каждом отдельном случае в зоне высокой газовой концентрации наблюдаются различные остаточные растения, а не одни и те же, что говорит о широкой избирательности растений к различным условиям загрязнения. Отмечена тенденция деградации фитоценозов до однокомпонентных, с замещением естественной растительности мусорными и сорными растениями.

Представляется необходимым дальнейшее разностороннее изучение влияния дымо-газовых выделений на растительность, в особенности преодоления этого влияния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамашвили Г. Г. (1957). Влияние загрязнений атмосферного воздуха на хвойные насаждения. Ж. «Гигиена и санитария», № 4, 67—69.
2. Адамова А. А. (1937). Защитная роль зеленых насаждений в отношении пыли и дымов. Ж. «Санитария и гигиена», № 3.
3. Антипов В. Г. (1957). Влияние дыма и газа, выбрасываемых промышленными предприятиями, на сезонное развитие деревьев и кустарников. Бот. ж. № 1.
4. Бабкина В. М. (1959). Устойчивость декоративных растений против дымовых газов. Бюллетень. Гл. бот. сада АН СССР, № 33.
5. Бабкина В. М. (1962). Цветочно-декоративные растения для промышленных площадок. Научные записки Днепропетровского университета, т. 78.
6. Булгаков М. В. (1958). Опыт озеленения г. Красноуральска. Материалы по озеленению городов Урала, в. I, г. Свердловск.
7. Булгаков М. В. (1961). Выращивание березы на почвах, отравленных отходами производства. Сб. «Обмен опытом по зеленому строительству». Изд. УНИИ АКХ РСФСР, г. Свердловск.
8. Гаевая З. И. (1962). Деревья и кустарники на промышленных площадках. Научные записки Днепропетровского университета, т. 78, Днепропетровск.
9. Гаевая З. И. (1962). К вопросу газоустойчивости деревьев и кустарников. Научные записки, Днепропетровский университет, т. 78, Днепропетровск.
10. Деева В. Е. (1956). Влияние сернистого ангидрида на ферментативные дыхательные системы ячменного зерна. Тр. Ленингр. технол. ин-та пищевой промышленности.

11. Докучаева В. Ф. (1959). Роль древесных насаждений в обеспыливании атмосферного воздуха. Ж. гигиены, эпидемиол., микробиологии и иммунитета (Чехосл.), 3, № 2.
12. «Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые сортаменты» (1950). Сборник работ под редакцией Н. П. Красинского, Горький — Москва, 1950.
13. Ершов М. Ф. (1959). Влияние пыли на рост растений. Ботанич. ж. 44, № 6.
14. Красинский Н. П. (1950). Методы изучения газоустойчивости растений. Сб. работ «Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые сортаменты», 7, Горький — Москва.
15. Кротова Н. Г. (1957). Влияние изменения воздушной среды на рост и развитие сосны в лесной даче ТСХА. Докл. Моск. ст. х. Акад. им. К. А. Тимирязева, вып. 29.
16. Кругликова И. П., Ефимова В. К. (1958). Сернистый газ в атмосферном воздухе как источник загрязнения воздуха жилых помещений. «Гигиена и санитария», № 3.
17. Кулагин Ю. З. (1961). Об устойчивости древесно-кустарниковых пород к действию магнезитовой пыли в районе г. Сатка. Сб. «Вопросы развития лесного хозяйства на Урале (Челябинская область)», УФАН, Свердловск.
18. Кунцевич И. П., Турчинская Т. Н. (1957). Озеленение фабрично-заводских площадок и промышленных поселков. Изд. Министерства коммунального хозяйства РСФСР, Москва.
19. Николаевский В. С. (1963). О показателях газоустойчивости древесных растений (по исследованиям в г. Красноуральске). Сб. «Интродукция и селекция растений на Урале», т. II, в. 31, УФАН, г. Свердловск.
20. П. Роу-Даттон (1962). Укоренение черенков в искусственном тумане. Сельхозиздат, М.
- Тарчевский В. В. (1957). Зеленое строительство в Свердловской области, Свердловское областное отделение ВООП.
- Тарчевский В. В. (1958). Озеленение зданий, Свердловск.
- Тарчевский В. В. и Голынец Я. А. (1958). Озеленение соцгорода Новотрубного завода, ж. «Цветоводство», № 1.
- Тарчевский В. В. (1959). Чудесный фильтр, ж. «Уральский следопыт», № 4.
21. Тарчевский В. В. (1959). «Основные направления и задачи изучения растительности в районах расположения промышленных предприятий». Ученые записки Уральского университета, в. 37, Свердловск.
22. Тарчевский В. В. (1961). Бескильница Гаупта как растение для закрепления золотавалов и пылящих промышленных отходов. Бюл. Гл. бот. сада АН СССР, М., в. 41.
23. Тимофеев В. П. (1956). Восстановление хвойных лесов Подмосковья. Ж. «Лесное хозяйство», № 11.
24. Хачатрян (1955). Обогащение почвы тяжелыми металлами в результате загрязнения атмосферы. Изв. АН АрмССР, биол. и с/х, 8, № 11.
25. Шмаков А. А. (1958). Итоги двухлетнего изучения запыленности жилых кварталов города Асбеста. Свердл. мединститут, в. 21.
26. Ярославцев Г. Д. (1954). Пылезащитные свойства некоторых древесных пород. Изв. АН Туркм. ССР, № 5.
- Adam's D. F., 1956. The effects of air pollution on plant life. Arch. Industr. Health., 14, № 3.
- Adams D. F., Hendrix J. W., Applegate H. G., 1957. Relationship among exposure perids, foliar burn, and fluorine content of plant exposed to hydrogen fluoride. J. Agric and Food Chem., 5, № 2.
- Andre F., Hartig W., 1957. Interessante Beobachtungen über die Ermattung von Rauchschäden. Allgem. Forstzeitung, 68, № 17—18.
- Benben K., 1957. Szkody wyrzadzone w lasach jrzez substancije pochodzenia przemyslowego. Las polski, 37, № 17.
- Bieberdorf F. W., Shrewsbury C. L., Mc Kee H. C., Kro-

- ugh L. H., 1958. Vegetation as a measure indicator of air pollution. Bull. Torrey Bot. Club, 85, № 3.
- Bobrov-Glater R. A., 1956. Smog damage to ferus in the Los Angeles area. Phytopatology, 46, № 12.
- Bobrov R. A., 1955. The leaf structure of *Poa annua* with observations on its smog sensitiviti in Los Angeles county. Amer. J. Bot, 42, № 5.
- Bovay E., 1954. Detection des depots de fluor et de chlore sur la vegetation aux alentours des usines de productts chimiques. Landwirtsch. Jahrb. Schweiz., 3, № 9.
- Cole G. A., 1958. Air pollution with Relation to Agronomic. 111. Vegetation survey Methods in air pollution studies. Agron. J., 50, № 9.
- Conder E. M., 1957. Problems of forestry in industrial areas. Quart. J. Forestry, 51, № 1.
- Dunn D. B., 1959. Some effects of air pollution on *Lupinus* in the Los Angeles area. Ecology, 40, № 4.
- Jowett D., 1958. Populations of *Agrostis* spp. tolerant of heav metals. Nature, 182, № 4638.
- Jowett D., 1959. Adaptation of a lead-tolerant population of *Agrostis tenuis* to low soil fertility. Nature, 184, № 4679.
- Ferda J., 1953. Odornost lesnich drevin proti koulovyn plynum Lesn. práce, 32, № 10.
- Freisberg E., 1957. Abgase in ihrer Auswirkung auf die Landwirtschaft. Mitt. Dtsch. Landwirtschafts-Ges., 72, № 1, 12, 14, 15.
- Güde J., 1954. Die Feststellung der durch Steinkohlenrauch verursachten Luwachsminderung in Fichtenbeständen. Weltforstwirtschaft., 17, № 3.
- Halliday E. C., 1962. Исторический обзор проблемы загрязнения атмосферного воздуха. Сб. «Загрязнение атмосферного воздуха», Всемирная организация здравоохранения, Женева.
- Härtel O., 1954. Über einige Wirkungen gas und staubhaltiger Fabriksexhalationen auf Pflanzen. Festschrift für Erwin Aichinger d. 2, W.
- Hendrix J., Walter, Hal H. R., 1958. The relationship of certain leaf characteristics and flower color to atmosferic fluoride sensitivity in *gladiolus*. Proc. Amer. Soc. Hortic. Sci., 72.
- Hill A. C., Transtrum L. G., Pack M. R., Winters W. S., 1958. Air pollution With Relaciot to Agronomic Crops. VI. An investigation of the «hidden injury» therǵ of fluoride damage to plants. Agron. J., 50, № 9.
- Hofmann Ed., Wolf L., 1958. Über den Einfluss von Steinkohlenflugasche auf Boden und Pflanzenwachstum. Z. Pflanze ernähr., Düng., Bodenkunde, 82, № 2—3.
- Hölte W., 1958. Zur Kenntnis von Wessen und Erscheinungsorten der Schwefligsäureeinwirkung auf die planzenwelt. Z. Pflanzenkrankh., 65, № 1.
- Hufnagel H., 1957. Die Rauchschäden am Walde im Raume von Linz Naturkundl. Jahrb. Stadt Linz.
- Kaudy J. C., Bingham F. T., Mc Colloch R. C., Liebig G. F., Vanselow A. P., 1955. Contamination of citrus foliage by fluorine from air pollution in major California citrus areas. Proc. Amer. Soc. Hortic. Sci., 65, Ithaca N. Y.
- Klevin P. B., Weinstein M. S., Harris W. B., 1956. Ground lebel contamination from stack effluents. Amer. Industr. Hyg. Assoc. Quart., 17 № 2.
- Leclercq A., Piquet G., 1956. Essais sur l'action des poussières de cimenterie sur la végétation. Bull. hortic., 11, № 2.
- Leone I. A., Brennan E., Daines R. H., 1956. Atmospheric fluoride its uptake and distribution in tomato and corn plants. Plant. Physiol., 31, № 5.
- Mac Intire, Hardin, Hardison, 1954. Atmospheric Fluorine. «Agricultural oud Food Chemistry», vol. 3, № 14.
- Mac Intire W. H., 1957. Fate of air-borne fluorides and ottendant affects upon soil reaction and fertility. J. Assoc. Offic. Agric. Chemists, 40, № 3.

Mc Nulty I. B., Neuman D., 1955—1956. The effects of a lime spray on the respiration rate and chlorophyll content of leaves exposed to atmospheric fluorides. *Proc. Utah Acad. Sci.*, 33.

Marks J., Mason M. A., Nagelschmidt G., 1956. A study of dust toxicity using a quantitative tissue culture technique. *Brit. J. Industr. Med.*, 13, № 3.

Materna J., Pliva K., 1958. Létavý popilek v lesních porostech na Kladensku. *Lesn. práce*, 37, № 9.

Materna J., 1954. Jak škodí kouř s hlediska zařízení lesu. *Lesn. práce*, 33, № 9.

Meyer H., 1962. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на растения. Сб. «Загрязнение атмосферного воздуха». Всемирная организация здравоохранения, Женева.

Meyer H., 1956. Rauchschäden und Nabkornbildung an der Weihanne. *Forst und Jagd*, 6, № 1.

Metcalfe C. R., 1953. Effects of atmospheric pollution on vegetation. *Nature*, 172, № 4380.

Middleton J. T., Darley E. F., Brewer R. F., 1957. Damage to vegetation from polluted atmospheres. *Proc. Amer. Petrol. Inst.*, sec. 3, 37.

Němec A., 1958. Vliv kouře a popílku na intoxikaci smrkových porostu. *Ceskosl. akad. zemed. ved. Lesnictví* 4, № 5.

Olsen R. A., 1957. Absorption of sulfur dioxide from the atmosphere by cotton plants. *Soil Sci* 84, 2.

Pelz E., 1956. Gasförmige Luftverunreinigungen und Holzartenwahl in Gebieten mit Industrierauchschäden. *Forst und Jagd.*, 6, № 8.

Pelz E., 1958. Erfahrungen mit dem Trübungstest nach Härtel bei der Rauchschadendiagnose an Fichte. *Arch. Forstwesen*, 7, № 2.

Pelz E., 1958. Beobachtungen zur Rauchhärte der Kiefer. *Allgem. Forstzeitschrift*, 13, № 42.

Pelz E., 1959. Rauchschadendiagnose. *Arch. Forstwesen*, 8, № 8.

Прокопиев Е. К., 1957. Изучение дымоустойчивости некоторых древесных и кустарниковых пород в промышленных кварталах Софии и Дмитрова. София.

Rees W. J., Sidrak G. H., 1955. Plant growth on «fly ash». *Nature*, v. 176, № 4477.

Rees W. J., Sidrak G. H., 1956. Plant nutrition on fly-ash. *Plant and Soil.*, 8, № 2.

Reckendorfer P., 1953. Ein Beitrag zur Microchemie des Rauchschadens durch fluor. Die Wanderung der Fluors im pflanzlichen Gemisch. 11 teil: Die sichtbaren Schäden. *Pflanzenschutzber.*, 10, № 7—8.

Todd G. W., Garber M. J., 1958. Some effects of air pollutants on the growth and productivity of plants. *Bot. gaz.*, 120, № 2.

Tonzig S., 1958. Le piantecome indice della presenza e dell'intensità di alcuni contaminanti atmosferici. *Minerva med.*, 49, № 23.

Tostensson G., 1954. Strickstoff und Schwefelverbindungen aus der Atmosphäre und ihre Bedeutung für die Pflanzen. *Sitzungsber. Dtsch. Akad. Landwirtschaftswiss.*, Berlin, 3, № 18.

Zimmerman R. W., Hitchcock A. E., 1956. Susceptibility of plants to hydrofluoric acid and sulfur dioxide gases. *Contribs Boyce Thompson Inst.*, 18, № 6.